

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

MARIANE ANDRESSA PINTO STELLE LINHARES

PRODUÇÃO DE BATATAS-DOCE-SEMENTE EM AEROPONIA

PONTA GROSSA

2020

MARIANE ANDRESSA PINTO STELLE LINHARES

PRODUÇÃO DE BATATAS-DOCE-SEMENTE EM AEROPONIA

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Bioenergia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de concentração: Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia

PONTA GROSSA

2020

L755 Linhares, Mariane Andressa Pinto Stelle
Produção de batatas-doce-semente em aeroponia / Mariane Andressa Pinto Stelle Linhares. Ponta Grossa, 2020.
58 f.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia - Área de Concentração: Biocombustíveis), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio García.

1. Mudanças. 2. Propagação. 3. Ipomoea batatas. 4. Solução nutritiva. I. García, Luiz Cláudio. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Biocombustíveis. III.T.

CDD: 662.8

MARIANE ANDRESSA PINTO STELLE LINHARES

PRODUÇÃO DE BATATAS-DOCE-SEMENTE EM AEROPONIA

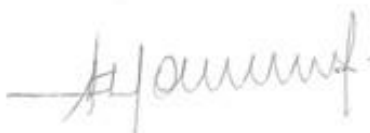
Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de Bioenergia.

Ponta Grossa, 24 de junho de 2020.

Orientador:



Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia – Orientador
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes
Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Ponta
Grossa



Prof. Dr. Jhon Jairo Ramírez Behainne
Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar meus passos nesta caminhada.

Aos meu pais, Bronilde e Carlos, por acreditarem em meu potencial e sempre me incentivarem a crescer, pessoal e profissionalmente.

Ao meu esposo, Leandro, por me apoiar incondicionalmente, ser meu alicerce quando precisei e ser meu companheiro em mais esta jornada.

À minha irmã, Marília, por toda ajuda disponibilizada ao longo deste processo.

A todos meus familiares e amigos por entender minhas ausências e torcer pelo meu sucesso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia, pela orientação nesta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes por toda ajuda e orientação neste processo.

A todos os professores e colegas de trabalho do LAMA, em especial o colega Anderson Farias, por estarem dispostos a ajudar e ensinar sempre que preciso.

Aos professores do programa de pós-graduação em Bioenergia pela disponibilidade em esclarecer dúvidas e auxiliar quando necessário.

Ao professor Arthur Villordon por estar sempre disposto a sanar dúvidas e auxiliar esta pesquisa.

Às minhas colegas de mestrado Vanessa, Kauana e Gláucia pelo vínculo criado, todas as trocas de experiências de vida e de trabalho e pelos risos e choros compartilhados.

À CAPES pela bolsa concedida para elaboração desta pesquisa.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo. ”

(Albert Einstein)

LINHARES, Mariane Andressa Pinto Stelle. **Produção de batatas-doce-semente em aeroponia**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2020. Dissertação

(Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

RESUMO

A substituição de combustíveis fósseis por fontes alternativas e renováveis de energia é fator crescente na questão energética mundial. Dentro desta perspectiva, surge a utilização da biomassa como uma das fontes alternativas mais utilizadas mundialmente. Uma das culturas que tem grande potencial energético é a batata-doce (*Ipomoea batatas*), cuja utilização para este fim pode significar melhorias para a qualidade de vida para a população do campo. Uma dificuldade na produção da batata-doce é sua propagação, realizada principalmente através de mudas a partir de um processo demorado e laborioso. O objetivo deste trabalho foi, portanto, verificar a produção de tubérculos de batata-doce em aeroponia com o intuito de usá-los como semente, assim como realizado com a batata (*Solanum tuberosum*). Um sistema aeropônico desenvolvido na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) foi calibrado para se tornar automatizado, de maneira que foram testadas duas soluções nutritivas para cinco genótipos de batata-doce. Foram avaliados número de folhas, medidas de comprimento médio de raiz e medidas máximas de comprimento e largura de folhas. Para as soluções nutritivas foram avaliadas médias de pH e condutividade elétrica. Concluiu-se que, para o desenvolvimento radicular, a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon se mostrou mais eficiente, e que melhorias devem ser feitas no sistema aeropônico e na solução nutritiva para que se atinja o objetivo de produzir tubérculos em aeroponia.

Palavras-chave: mudas, propagação, *Ipomoea batatas*, solução nutritiva.

LINHARES, Mariane Andressa Pinto Stelle. **Produção de batatas-doce-semente em aeroponia**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2020. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

ABSTRACT

The substitution of fossil fuels for alternative and renewable sources of energy is a growing factor in the global energy issue. From this perspective emerges the use of biomass as one of the most used alternative energy sources worldwide. One of the crops with great energetic potential is the sweet potato (*Ipomoea batatas*), which use could mean the improvement of quality of countryside life. One difficulty in the production of sweet potato is its propagation, made mainly through vines, which is a protracted and laborious process. The purpose of this study was then, to verify the production of sweet potato tubers in aeroponics aiming to use them as seeds, as done with potato (*Solanum tuberosum*). An aeroponic system developed at State University of Ponta Grossa (UEPG) was adjusted to become automate so that two different nutrient solutions were tested for five genotypes of sweet potato. The number of leaves, measurements of average root length and measurement of maximum length and width of leaves were evaluated. For the nutrient solutions, pH and electric conductivity averages were evaluated. The conclusion presented is that for root development the Hoagland and Arnon complete nutrient solution was more efficient, and improvements in the aeroponic system and in the nutrient solution must be done to achieve the goal of producing sweet potato tubers in aeroponics.

Key words: vines, propagation, *Ipomoea batatas*, nutrient solution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Etapas para o preparo do biofertilizante Supermagro® conforme especificações do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2016.....	32
Figura 2 -	Código de programação da placa Arduino® Uno utilizada em sistema aeropônico, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019	37
Figura 3 -	Desenho esquemático de sistema aeropônico utilizado para produção de mudas de batata-doce (Ipomoea batatas), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, 2020.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição da solução nutritiva completa utilizada em experimento aeropônico para produção de mudas de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>), Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), 2019.....	26
Tabela 2 -	Características morfológicas referente às folhas e tubérculos dos genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) selecionados para realização do experimento de produção de mudas em aeroponia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa (PR), 2019.....	29
Tabela 3 -	Composição do biofertilizante Supermagro® conforme especificações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2016.	40
Tabela 4 -	Registro sobre as características da água distribuída no município de Ponta Grossa (PR) de 27 de dezembro de 2019 a 27 de janeiro de 2020....	33
Tabela 5 -	Composição da solução nutritiva da marca Altech Crop Science®, utilizada em sistema aeropônico para produção de mudas de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.), Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), 2019.....	41
Tabela 6 -	Características dos cinco genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.), após 30 dias de cultivo em aeroponia, em solução nutritiva de concentração de 11,25 mL 90L-1, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019.....	42
Tabela 7 -	Tamanhos máximos de comprimento e largura (cm) das folhas de mudas de cinco genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.), após 30 dias de cultivo em aeroponia em solução nutritiva de concentração de 11,25 mL 90L-1, em estufa agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná.....	43
Tabela 8 -	Média de pH e CE de amostras de solução nutritiva comercial na concentração de 11,25 mL 90L-1 coletadas em novembro de 2019, Ponta Grossa, Paraná.....	43
Tabela 9 -	Características da batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.), após 45 dias de cultivo em aeroponia, em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) de concentração de 0,5%, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná.....	45
Tabela 10 -	Tamanhos máximos de comprimento e largura (cm) das folhas de mudas de cinco genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.), após 45 dias de cultivo em aeroponia em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) de concentração de 0,5%, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná.....	46

Tabela 11 - Média de pH e CE de amostras de solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), na concentração de 0,5%, coletadas em dezembro de 2019 e janeiro de 2020, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019-2020.....	46
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 ENERGIA.....	14
3.2 BIOENERGIA.....	14
3.3 BIOMASSA	16
3.4 ETANOL	18
3.5 BATATA-DOCE.....	20
3.6 HIDROPONIA	23
3.6.1 Aeroponia	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	29
4.2 GENÓTIPOS	29
4.3 SISTEMA AEROPÔNICO	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA – PRIMEIRO TESTE.....	34
5.2 CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA – SEGUNDO TESTE	34
5.3 ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA E CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA – TERCEIRO TESTE.....	36
5.4 CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA – QUARTO TESTE	44
6 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas e renováveis de energia vem atraindo a atenção mundial, visto que é sabido que a exploração de combustíveis fósseis está diretamente ligada a problemas ambientais, econômicos e sociais. Ao utilizar tais fontes alternativas de energia, a matriz energética em questão é diversificada, o que a torna conseqüentemente mais segura. A energia provinda da biomassa, que é a transformação da matéria orgânica em biocombustíveis, está entre as principais fontes de energias alternativas e renováveis utilizadas atualmente. Várias culturas podem ser utilizadas como fontes energéticas, algumas já bastante exploradas, como por exemplo a cana-de-açúcar e o milho, e outras que ainda não são aproveitadas em sua totalidade, como a batata-doce.

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma cultura rudimentar extremamente rica em açúcares que podem ser convertidos em etanol através de processos químicos. Esta cultura é bastante importante para a agricultura camponesa, e a ampliação de seu cultivo, bem como de seu uso como fonte de energia, pode resultar em empregos e aumento de renda no meio rural.

Entretanto, é válido ressaltar que é necessário pensar em alternativas para a produção em larga escala e estruturada da batata-doce, visto que a principal forma de propagação deste material é feita através de mudas. O processo para produção de mudas leva bastante tempo, além de ser laborioso.

Uma alternativa para a propagação do material da batata-doce é a produção de raízes tuberosas que sirvam como material de propagação. O método de utilizar pedaços de tubérculos como sementes é bastante difundido para a cultura da batata (*Solanum tuberosum*).

A aeroponia surge como uma tecnologia para a produção destas batatas-doce-semente. Através desta técnica, é possível produzir muitas mudas que darão origem a batatas-doce-semente em menor espaço, utilizando menos água e tempo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi produzir batatas-doce-semente em um sistema aeropônico desenvolvido na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um sistema aeropônico automatizado;
- Testar diferentes soluções nutritivas para avaliar o desenvolvimento das mudas ao recebê-las;
- Produzir raízes de armazenamento que pudessem ser utilizadas como semente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ENERGIA

A primeira fonte energética utilizada pelo homem foi a matéria lignocelulósica convertida em calor (fogo) com o objetivo de se aquecer, passando pela tração animal que permitiu o desenvolvimento da agricultura, e também a utilização da energia dos ventos em rodas d'água permitindo a moagem de grãos; com a Revolução Industrial, houve o desenvolvimento de máquinas mais elaboradas que funcionavam à base de combustíveis fósseis. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Portanto, é possível afirmar que a descoberta de novas fontes de energia tem relação direta com a evolução da sociedade. (CARVALHO, 2014).

Com o aumento da população mundial e a utilização cada vez maior da tecnologia, a demanda energética também vem aumentando significativamente. (RODRIGUES *et al.*, 2019). No ano de 2011, 86% da energia utilizada no mundo foi proveniente de fontes não-renováveis, responsáveis diretos pelo aumento da temperatura no mundo. (SILVA *et al.*, 2017). O problema da mudança climática é ocasionado pela emissão do dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (NO), gases causadores do efeito estufa. (ACUÑA *et al.*, 2017).

As energias renováveis que, além das vantagens ambientais que apresentam por serem menos poluentes, podem estar ligadas ao desenvolvimento econômico e social dos locais onde são produzidas por gerar renda e emprego, despontam então como uma alternativa à utilização dos recursos fósseis. (DELICADO; JUNQUEIRA, 2013). Países possuidores de grande diversidade de matérias-primas que podem ser utilizadas como fontes de energias renováveis, como é o caso do Brasil, devem desenvolver uma política energética que os tornem cada vez menos dependentes de grandes potências. (CASTRO; SOUZA; CASTRO, 2019).

O entendimento sobre a importância da utilização de energias renováveis é recente, o que torna a pesquisa científica e tecnológica sobre o tema uma questão de grande relevância (DELICADO; JUNQUEIRA, 2013). Merecem destaque, neste cenário, as pesquisas relacionadas à bioenergia, que é a energia renovável mais utilizada mundialmente (BARBOSA, 2018).

3.2 BIOENERGIA

A energia proveniente da biomassa recebe o nome de Bioenergia. Para seu melhor aproveitamento, é necessário levar em consideração seus aspectos ambientais, sociais e

econômicos, de modo que a Bioenergia possa ser utilizada em diversos setores, como transporte e produção de eletricidade. (CREUTZIG *et al.*, 2015).

A procura por novas formas de desenvolvimento é resultado da atuação humana causadora de graves consequências ao meio ambiente. (BISSOLI-DALVI *et al.*, 2017). As energias renováveis, devido ao seu grande potencial de aproveitamento, aparecem como uma solução para enfrentar os problemas causados pelos combustíveis fósseis. (EVARISTO *et al.*, 2016; MORAIS *et al.*, 2018).

A preocupação com a liberação destes gases causadores do efeito estufa (GEE) é um fator de preocupação para a comunidade internacional e, como forma de tentar controlar tal liberação, são realizadas conferências mundiais em prol do meio ambiente. Dentre estas conferências merece destaque a Conferência Rio 92, onde ocorreu a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), que tinha como objetivo estabilizar a concentração de GEE na atmosfera; e no ano de 1997, a determinação do Protocolo de Quioto, buscando estabelecer metas que diminuam a emissão dos GEE. (MOREIRA; GIOMETTI, 2008).

Os países que integram a Organização das Nações Unidas (ONU), se reuniram no ano de 2015 em Nova York, e desenvolveram o documento: “Transformando o nosso mundo: a agenda 2030 o desenvolvimento sustentável” que conta com 17 objetivos. O sétimo destes objetivos é “Energia limpa e acessível” que visa, entre outras coisas, a pesquisa de energias renováveis. (ONU, 2018).

Caracterizam-se como energias renováveis aquelas cujas suas fontes podem se restabelecer de maneira natural. Dentre estas estão a energia solar, geotérmica, hidrelétrica, eólica, energia das marés e a bioenergia. (OWUSU, ASUMADU-SARKODIE, 2016). As fontes de energia renovável devem superar obstáculos não somente em relação às questões ambientais, bem como também às sociais, econômicas e técnicas. (STRANTZALI, ARAVOSSIS, 2016).

A utilização de energias renováveis é uma das soluções ao problema de consumo de insumos energéticos que, até 2035 crescerá 40%, e não pode manter-se baseada nos combustíveis fósseis, já que os mesmos apresentam grandes impactos ambientais, caracterizando-se desta forma como não sustentáveis. Por não possuírem alta densidade energética, as energias renováveis estariam em desvantagem quando comparadas aos combustíveis fósseis; portanto, a melhor forma de utilizá-las é combinando diferentes fontes levando em consideração sua eficiência e disponibilidade local. (VALE; MOREIRA; MARTINS, 2017).

O Governo Federal brasileiro criou em 13 de janeiro de 2005 a lei nº 11.097 que prevê em seu artigo 1º, a incorporação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, levando em consideração as bases econômica, social e ambiental. (BRASIL, 2005). Outra estratégia elaborada pelo Governo Federal é o Plano Nacional de Energia 2030, estudo realizado com o intuito de planejar as demandas e uso de energia até 2030, que contém uma análise dos biocombustíveis, a expansão de sua produção e de seu uso. (SANTOS; FERREIRA FILHO, 2017).

Os biocombustíveis são combustíveis originados a partir de matérias-primas renováveis animais ou vegetais, com destaque para o etanol, biodiesel e biogás, em variadas condições climáticas e de solo, o que torna a produção de tais combustíveis mais abundante e econômica. (CARVALHO *et al.*, 2014). Estes, assim como os combustíveis de origem fóssil, podem estar disponíveis nas formas sólida, líquida e gasosa. (GUO; SONG; BUHAIN, 2015).

Devido às suas características geográficas (relevo, clima e hidrografia), o Brasil é considerado privilegiado no aspecto energético, pois pode-se bem aproveitar suas várias fontes de energia renováveis, dentre as quais pode-se citar a eólica, solar, hidráulica e a biomassa. (PINTO; MARTINS; PEREIRA, 2017). A oferta interna de fontes de energias renováveis no Brasil teve um aumento de 2004 para 2009, de 44% para 47,3%, com um declínio para 39,4% no ano de 2014, devido uma redução da energia hidráulica. (SIMIONI *et al.*, 2017). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2019, que avalia dados do ano anterior, 45,2% da matriz energética brasileira é proveniente de fontes renováveis, e dentro disso, o bagaço da cana-de-açúcar corresponde ao primeiro lugar (17,4%), seguido da energia hidráulica (12,6%), enquanto o carvão e a lenha correspondem a cerca de 8,4%. (EPE, 2019).

Dentre as pesquisas realizadas com intuito de explorar fontes renováveis de energia têm destaque mundial as relacionadas à biomassa, que pode ser convertida em biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Acredita-se que o desenvolvimento econômico nacional, bem como a proteção ambiental estão ligados à utilização da biomassa como fonte energética. (MAO *et al.*, 2018).

3.3 BIOMASSA

Biomassa pode ser definida como material de origem orgânica que possa ser convertido em energia através de sua utilização direta, ou pela sua transformação, em biocombustíveis. Entre as culturas mais utilizadas para a produção de biocombustíveis no Brasil estão a cana-de-açúcar, a soja, o milho, etc. (AZEVEDO; LIMA, 2016).

No ano de 2010, apenas 30% da biomassa utilizada como fonte de energia no mundo foi processada e transformada em biomassa moderna, de modo a gerar biocombustíveis e eletricidade, enquanto 70% foi utilizada como biomassa tradicional, assim como era feito no século XIX. (GOLDEMBERG, 2016). Por ser originada a partir de recursos que são encontrados em abundância, como resíduos da agricultura, madeira e restos orgânicos, a energia provinda da biomassa cresceu significativamente na última década. (CHENG, 2017).

A capacidade de absorver gás carbônico da atmosfera faz com que a biomassa seja reconhecida como um combustível neutro em relação ao carbono, o que gera interesse por parte de agroindústrias que buscam sustentabilidade. (BUENO *et al.*, 2017).

Utilizar a biomassa como fonte de energia se caracteriza como vantajosa em termos econômicos e ambientais, o que torna grande seu potencial como uma das fontes de energias renováveis. (BÜHRING; SILVEIRA, 2018). Entretanto, o uso da biomassa pode estar erroneamente associado a algumas afirmações como, por exemplo, ser uma fonte de energia de baixo rendimento, ou têm relação com desflorestamento e desertificação. (ANEEL, 2002).

A produção de biomassa com objetivo de transformá-la em biocombustível é de grande importância pois, por poder ser cultivada tanto em pequenas quanto em grandes propriedades, ela realiza importante papel em termos de segurança energética, além de contribuir para geração de empregos. (MIURA *et al.*, 2011). Deve-se avaliar em um sistema produtor de biomassa para bioenergia, além dos critérios ambientais, como por exemplo a demanda de água, o sequestro de carbono e a produtividade por hectare; os aspectos sociais da produção desta biomassa, como a geração de empregos de qualidade, o processamento da biomassa, além do acompanhamento e transporte e a utilização de subprodutos. (SACHS, 2007).

É importante analisar a participação dos agricultores familiares dentro do cenário energético, pois através deste cenário se faz possível a independência destes agricultores em relação a produção e acesso à energia, além de que pequenos agricultores podem desenvolver inovações relacionadas à tecnologia unida à utilização de recursos que podem ser considerados escassos. (RAMBO; MICHAELSEN; SCHNEIDER, 2013). Por produzir uma diversificação de renda agrícola, bem como um aumento de geração de empregos na zona rural, a produção de biocombustíveis gera benefícios econômicos originados da bioenergia produzida a partir da biomassa. (CREUTZIG *et al.*, 2015).

A agricultura familiar, presente principalmente nos países em desenvolvimento, apresenta uma produtividade maior do que a agricultura realizada em grandes áreas. Isto se deve à diversificação de seus sistemas que podem integrar várias culturas, o que permite minimizar a geração de resíduos, já que estes podem ser transformados em subprodutos. Estas

pequenas áreas também servem para a produção de energias renováveis, e tal geração de energia pode estimular a economia local, bem como gerar empregos na região. (WO, 2013).

A utilização da biomassa como fonte energética está relacionada à redução da pobreza de países em desenvolvimento, através do crescimento da economia rural. (BILGILI *et al.*, 2017). A conversão de biomassa em biocombustíveis pode ser realizada utilizando processos tecnológicos específicos, como empregado na produção do etanol a partir do açúcar e do amido. (TOKLU, 2017).

3.4 ETANOL

Pode-se definir o etanol como um combustível de alta octanagem que é originado de plantas, apresentando propriedades que permitem seu uso em bebidas, germicida, anticongelante e como intermediário para outros químicos orgânicos. (RIZZOLO, 2014). O etanol é um líquido inflamável, pouco tóxico que queima de forma mais completa que a gasolina por apresentar oxigênio em sua estrutura, resultando na liberação de uma menor quantidade de poluentes. (SZWARC, 2008).

Este biocombustível passou a ganhar destaque no setor energético brasileiro no início do século passado, quando em 1933, durante o governo de Getúlio Vargas, foi sancionada a lei nº 737 que tornou obrigatória a presença de uma parcela de etanol na gasolina, além de ter sido realizada a criação do Instituto de Açúcar e do Alcool, o IAA. (RODRIGUES; ABREU, 2016).

Entretanto, a medida mais significativa tomada pelo Governo Federal em relação à produção de etanol foi a criação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) no ano de 1975. Este programa tinha como objetivo ampliar a produção, principalmente do álcool anidro, de modo a fazer a matriz energética nacional diminuir a proporção do petróleo utilizado, já que o mesmo era quase em sua totalidade importado e passava por uma alta de preços. (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991).

Em seu projeto inicial, o Proálcool utilizaria diversificadas matérias-primas, como por exemplo o sorgo sacarino e a mandioca, de forma a obter a participação de pequenos proprietários de terra, dando a este projeto uma característica social. Entretanto, por pressões políticas de usineiros, com o objetivo de utilizar a alta capacidade das usinas e a elevada produtividade da cultura, diminuindo desta forma os custos e aumentando a produtividade, a cana-de-açúcar passou a ser a cultura mais importante do programa. (IPEA, 2016).

Durante a primeira fase do Proálcool, a maior parte da produção de etanol consistia no álcool anidro que é misturado na gasolina, o que alavancou em 1978 a criação de carros

movidos a este combustível, exclusivamente. Quando em 1979, o mercado do petróleo sofreu mais uma queda, o governo brasileiro passou a estimular o desenvolvimento de destilarias autônomas, o que promoveu a produção em grande escala do etanol hidratado. (SILVA *et al.* 2013).

A primeira fase do Proálcool exigia a adição de 10% de etanol na gasolina, e a segunda fase do programa, iniciada em 1979, foi marcada pela produção de etanol hidratado, enquanto no início da década de 1990, a parcela de etanol anidro na gasolina passou a ser 20-25%. (MACZYNSKA *et al.*, 2016). Os dois maiores produtores mundiais de etanol são respectivamente, os Estados Unidos, que utiliza como principal matéria-prima o milho, e o Brasil, no qual a principal cultura utilizada é a cana-de-açúcar. Os dois países são responsáveis pela produção de cerca de 85% do etanol mundial, o que caracteriza mais de 94 bilhões de litros de etanol por ano. (LOPES *et al.*, 2016).

O etanol pode ser dividido em diferentes gerações, conforme a origem de sua matéria-prima. (OLIVEIRA; VALDÉS SERRA; MAGALHÃES, 2012). O etanol de primeira geração, é originado de culturas que são utilizadas como alimento de humanos e animais, sendo as matérias-primas sacarinas e amiláceas. (MORAIS *et al.*, 2017). Nas culturas sacarinas, como por exemplo a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino, a glicose é encontrada na forma de sacarose, sendo possível sua hidrólise sem ser necessário tratamento anterior, para então seguir para a etapa de fermentação. Na batata, milho e trigo, que são culturas amiláceas, a glicose é armazenada como amido, sendo necessária realizar a hidrólise ácida ou enzimática, para quebrar a molécula de amido em hexoses. (CARVALHO, 2018).

Para a obtenção de etanol de primeira geração é realizada a fermentação dos açúcares por leveduras que fazem a hidrólise da sacarose, sendo que estes açúcares estão facilmente disponíveis nas plantas. (PACIENTE *et al.*, 2018). Por esta razão, Raele *et al.* (2014) afirmam que os açúcares simples disponíveis na biomassa são um fator determinante para a produção de etanol de primeira geração, pois são estes açúcares que serão utilizados por microrganismos fermentativos dando origem ao etanol destilado, produto que caracteriza este processo.

O etanol de segunda geração é produzido a partir de resíduos agrícolas, industriais e urbanos. (MORAIS *et al.*, 2017). Materiais lignocelulósicos são os utilizados como matérias-primas para a produção de etanol de segunda geração, e são compostos por celulose, hemicelulose e lignina, sendo este último o único composto que não é convertido em etanol. (CARVALHO, 2018). O processo de transformação da celulose em etanol é feito pela quebra dos polissacarídeos que compõem a celulose em açúcares mais simples, para então passar para as fases de hidrólise, fermentação e destilação. (RAELE *et al.*, 2014). É importante ressaltar

que a hidrólise dos materiais lignocelulósicos pode ocorrer por duas vias: ácida e enzimática, sendo que na via ácida é utilizado um catalisador ácido, enquanto na via enzimática são adicionadas enzimas (catalisadores biológicos). (PACIENTE *et al.*, 2018).

O etanol de terceira geração tem como matéria-prima as micro e macroalgas, que por poderem ser cultivadas em áreas improdutivas do ponto de vista agrônomo, não competem diretamente com áreas cultiváveis, gerando interesse em sua produção. (MAGRO *et al.*, 2016). Para a produção de biocombustíveis são utilizadas preferencialmente as microalgas já que suas estruturas são menos complexas e apresentam melhor crescimento e remoção de CO₂. Apesar do etanol de terceira geração apresentar maior produtividade que os de primeira e segunda geração, ele ainda não é produzido em larga escala. (CARVALHO, 2018).

O Brasil é um país de amplo território onde é possível realizar o cultivo de diversas culturas que podem ser matérias-primas de interesse na obtenção de etanol. Dentre as culturas que podem gerar etanol, está a batata-doce, que além do grande potencial produtivo, apresenta também alta quantidade de amido que pode ser convertido no biocombustível. (MAINO *et al.*, 2019).

3.5 BATATA-DOCE

A batata-doce, que tem o nome científico *Ipomea batatas*, é uma dicotiledônea da Família Convolvulaceae, tem caule herbáceo e hábito prostrado, ramificações com cor, tamanho e pilosidade bastante distintas; folhas largas que variam em tamanho, recorte e formato; flores hermafroditas que realizam fecundação cruzada, além de raízes que podem ter formatos diferentes e casca rugosa ou lisa. É originária da América e podem ser encontrados registros de seu uso há mais de 10 mil anos. (SILVEIRA *et al.* 2015).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), no ano de 2017 o continente asiático foi o maior produtor de batata-doce mundial, com destaque para a China que sozinha foi responsável pela produção de quase 72 milhões de toneladas dessa cultura. O continente americano fica em terceiro lugar, sendo superado pelo continente africano, e o Brasil é o décimo primeiro produtor mundial de batata-doce, com uma produção no ano de 2017 de pouco mais de 776 mil toneladas. (FAO, 2019).

É uma cultura bem difundida no Brasil, apesar de ser mais representativa aos pequenos produtores. Tem características que permitem seu uso de várias maneiras desde a raiz na forma de alimento e como potencial produtora de etanol, além da parte aérea que pode ser uma fonte de alimento animal. (FERREIRA, 2019).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) afirma que no ano de 2017 uma área de 24.123 hectares foi destinada à plantação de batata-doce, sendo que a área correspondente ao estado do Paraná foi de 2.507 hectares. A região que apresentou maior área destinada ao plantio dessa cultura foi a Sudeste, seguida da região Sul, onde o estado que mais se destacou foi o Rio Grande do Sul. (IBGE, 2019).

A cultura da batata-doce não é de difícil manejo, ou de grande exigência, podendo ser cultivada juntamente com outras culturas, além de ser bem adaptada a condições ambientais diversas. (SENANAYAKE *et al.*, 2013). Apesar de se desenvolver bem em qualquer tipo de solo, é preferencial optar por solo pouco encharcado e bem drenado, já que o desenvolvimento da batata-doce nessas circunstâncias pode levar ao desenvolvimento de raízes longas, denominadas “chicote”, o que ocasiona a redução da produtividade da cultura. (SILVEIRA, 2007).

Apesar de ser uma cultura perene, a batata-doce é cultivada como anual e pode ser propagada de modo vegetativo, ou através da raiz tuberosa. O sistema radicular dessa cultura consiste em raízes absorventes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, e raízes de reserva (tuberosas). Quando é realizada a propagação vegetativa, as primeiras raízes observadas na nova planta são adventícias, que se desenvolvem em raízes absorventes primárias. (HUAMAN, 1992). Devido ao aumento do número de células, seja por divisão ou proliferação, e a ocupação das mesmas por amido, é que se desenvolvem as raízes tuberosas, também chamadas de raízes de armazenamento ou reserva. (RAVI *et al.*, 2009).

As raízes primordiais encontradas nos nós das mudas de batata-doce podem se transformar em raízes adventícias, que somadas às raízes formadas onde as mudas foram cortadas compõem o sistema radicular da planta. Nas condições ideais as raízes adventícias podem se transformar em raízes de armazenamento, bem como em outros dois tipos de raízes. Raízes fibrosas são formadas quando raízes adventícias sofrem algum tipo de dano antes ou durante o transplante, enquanto raízes lápis são geradas por condições ambientais adversas logo após o transplante. Raízes fibrosas não se tornam raízes de armazenamento, enquanto raízes lápis são alongadas e finas, com pouca tuberculização. (MEYERS *et al.*, 2014).

A quantidade de tubérculos produzida pelas mudas pode variar muito em quantidade, sendo possível encontrar plantas que produzem um número grande de raízes de reserva (de quatro a seis), outras que produzem uma só grande raiz e ainda plantas que não produzem raízes tuberosas. (FIRON, 2009). Tais raízes tuberosas podem ser divididas nas seguintes partes: extremo proximal, que é a parte que liga a raiz ao caule por um pedúnculo radicular; uma parte mais dilatada no centro; e o extremo distal. É no extremo proximal que se encontram gemas

adventícias, e a partir delas é que se formam os brotos. As raízes de reserva podem variar em formato sendo possível encontrar raízes com formato redondo, oblongo, fusiforme ou alongado. Estas diferenças em formato dependem do cultivar em questão, bem como podem receber interferência do solo onde está sendo cultivado. Outro fator que varia entre as muitas cultivares de batata-doce é a característica de coloração da periderme e da polpa das raízes de reserva. Ambas podem apresentar coloração branca, amarela, alaranjada, vermelha, salmão ou roxa. (HUAMAN, 1992).

As raízes tuberosas de batata-doce são ricas em amido, além de conter glicose, frutose e sacarose, que são açúcares fermentescíveis simples, uma pequena quantidade de fibras e proteínas. (TABASSUM *et al.*, 2015). A propagação da batata-doce pode ser feita principalmente através de mudas e ramos, sendo que as mudas devem ser utilizadas quando se deseja antecipar o plantio. A produtividade das batatas-doces não difere significativamente entre os dois métodos. (EMBRAPA, 1995).

Apesar de todas as qualidades da cultura da batata-doce, ela apresenta desafios na sua propagação, como por exemplo, o fato de ser difícil armazenar as mudas durante períodos de seca, devido à falta de água dificultar a manutenção das mesmas. (MWANJA; GOLER; GUGU, 2017). Além deste problema, estudos apontam que é necessária grande quantidade de mudas para plantar um hectare de batata-doce. Estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) apontam que para se produzir um hectare de batata-doce são necessárias 30.000 mudas. (EMBRAPA, 2008).

A exemplo com o que ocorre amplamente com a batata (*Solanum tuberosum*), uma alternativa à esta problemática seria a utilização de mini tubérculos ou fragmentos de tubérculos como meio de propagação da batata-doce. Estudos apontam que a utilização de fragmentos de tubérculos de batata-doce como sementes pode ser uma questão positiva na produtividade e na resistência dos tubérculos gerados ao meio ambiente. (ADACHI *et al.*, 2011). Para a batata, uma das vantagens encontradas nesta forma de propagação é a possibilidade do material gerado ser geneticamente igual ao material de origem. (SILVA FILHO, 2015). Ainda levando em consideração a produção de batatas através de mini tubérculos como sementes, um dos problemas apontados é de que por ser realizado normalmente em ambiente aberto há a contaminação destes tubérculos por patógenos com maior facilidade, portanto a melhoria dos sistemas produtores de batatas semente se faz necessário. (SILVA FILHO *et al.*, 2018).

Sistemas hidropônicos, onde o cultivo se dá sem solo e em ambientes controlados, tornam a colheita de tubérculos mais efetiva, bem como diminui a possibilidade de contaminação dos mesmos e apresenta a vantagem de ser possível controlar melhor a aplicação

de soluções nutritivas. (SOUZA *et al.*, 2013). Desta maneira, os sistemas hidropônicos vêm ganhando evidência como uma alternativa para a produção de batatas semente. (CALORI *et al.*, 2017).

3.6 HIDROPONIA

Hidroponia é uma palavra derivada do grego, onde *hydro* significa água, e *ponos* significa trabalho. É um sistema agrícola onde o cultivo de plantas se faz sem a necessidade de solo. É possível desenvolver um sistema hidropônico cultivando as raízes das plantas suspensas em meio a água, ou fixadas em substrato. A utilização de um sistema hidropônico apresenta inúmeras vantagens em relação ao sistema convencional de plantio, entre as quais é possível considerar a diminuição da utilização de agrotóxicos, já que as plantas não têm contato com o solo, não terão contato com nematoides, bactéria e fungos provindos dele; pode chegar a utilizar 60% menos água; e é também uma atividade que pode ser realizada através de mão-de-obra familiar, pois não se faz necessário muitas pessoas para realização do trabalho, bem como ergonomicamente torna possível a participação de pessoas de todas as idades. (SAVAZAKI, 2018).

Como os sistemas hidropônicos são desenvolvidos em ambientes controlados, como estufas, é possível obter produtividade de culturas durante o ano todo, e isto se apresenta como mais uma vantagem deste sistema de produção. (ABRANTES; SEIXAS FILHO, 2006). Ao considerar as características das folhas produzidas em sistemas hidropônicos, é esperado que as mudas desenvolvam mais folhas de menores dimensões devido ao maior adensamento utilizado nestes sistemas. (NOBOA *et al.*, 2019). Entretanto, os sistemas hidropônicos apresentam algumas desvantagens, entre as quais podemos citar o alto custo inicial necessário para desenvolvimento do sistema, a perda de culturas em caso de falta de energia elétrica e o acompanhamento assíduo pela necessidade de se ajustar continuamente a solução nutritiva. (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2016).

É possível classificar um sistema hidropônico de várias formas, levando-se em consideração diferentes variáveis. Um sistema hidropônico pode ser realizado em meio líquido ou utilizando um substrato; em relação ao reaproveitamento ou não da solução nutritiva, o sistema pode ser classificado como circulante ou não circulante; e quanto a forma como a solução nutritiva é aplicada a classificação é de intermitente ou contínua. (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

De acordo com o reaproveitamento da solução nutritiva, os sistemas hidropônicos podem ser classificados como fechados ou abertos, sendo os fechados aqueles em que a solução nutritiva não é perdida após a aplicação; enquanto nos abertos a solução não retorna ao sistema. (FACTOR, 2007). Um dos tipos de sistema hidropônico é a aeroponia, que é um sistema no qual as raízes das plantas devem estar expostas em um ambiente confinado que deve ser escuro e onde não deve haver nenhum impedimento para o desenvolvimento das raízes. (CALORI *et al.*, 2017).

3.6.1 Aeroponia

Em um sistema aeropônico, que deve ser escuro e fechado as raízes das mudas recebem de forma direta, solução nutritiva na forma de névoa ou gotículas. (FACTOR, 2007). Os sistemas aeropônicos, como todos os sistemas hidropônicos, apresentam uma alternativa de produção ao longo do ano todo, bem como melhor controle sobre o uso de água e melhor qualidade das culturas produzidas. Estes sistemas funcionam de forma que as plantas sejam cultivadas sem solo, e a água ou solução nutritiva aplicada diretamente nas raízes seja recirculante. (WOOTTON-BEARD, 2019). Desta maneira, é possível controlar variáveis importantes para o crescimento da cultura, como por exemplo: pH, concentração da solução nutritiva e a frequência de sua aplicação. Tais fatores tornaram o uso da aeroponia interessante para estudos de desenvolvimento de raízes e absorção de nutrientes. (ONTENG-DARKO *et al.*, 2017).

A estrutura de um sistema aeropônico é composta por uma câmara fechada, geralmente de isopor, podendo ser forrada com polietileno, onde as mudas da cultura de interesse são colocadas em orifícios neste isopor permitindo que as raízes fiquem penduradas dentro da câmara. O polietileno escuro auxilia na manutenção da umidade e escuridão dentro da câmara. As mudas recebem aplicação de solução nutritiva nas raízes através de pontas fixas conectadas a uma bomba de alta pressão por canos PVC. Com o objetivo de padronizar o intervalo de aplicações da solução nutritiva, é conectado à bomba um timer digital. A solução que não é absorvida pelas raízes e escorre por elas retorna ao sistema, possibilitando a reutilização da mesma. (SHARMA *et al.*, 2018).

A qualidade da solução nutritiva é uma questão relevante quando se é trabalhado com aeroponia. Em pesquisas que utilizaram o pepino (*Cucumis sativus*) e a pimenta-longa (*Piper hispidinervum*) como cultura de interesse, foi possível observar que a deficiência ou o excesso de macro ou micronutrientes pode ocasionar uma série de problemas para plantas cultivadas

neste sistema. (SILVA *et al.*, 2011; VIÉGAS, *et al.*, 2013). Portanto, é interessante saber as necessidades nutricionais da cultura a ser trabalhada, para que os nutrientes possam ser aplicados a elas de forma correta. (MAIA *et al.*, 2014). Quando a solução nutritiva não está corretamente calibrada para a cultura em questão, pode haver o murchamento das mudas que está relacionado ao baixo teor de oxigênio disponível na solução nutritiva, o que leva ao escurecimento das raízes. (FURLANI *et al.*, 2009).

A busca por uma solução nutritiva ideal para cada cultura é trabalhosa, o que leva grande parte dos estudos realizados em hidroponia a utilizar uma solução nutritiva completa baseada na proposta por Hoagland e Arnon (1950) e utilizada até os dias de hoje. (FURLANI *et al.*, 2009). A solução completa de Hoagland e Arnon pode ser observada na Tabela 1.

Esta solução nutritiva foi utilizada para culturas herbáceas (CUZZUOL *et al.*, 2005); a cultura goiaba (FRANCO; PRADO, 2006); da alface (COMETTI *et al.*, 2008); couve manteiga (LACERDA *et al.*, 2012); milho e sorgo (SANTOS *et al.*, 2015); e plantas medicinais (LIMA, 2019).

Após a definição da solução nutritiva a ser utilizada é necessário realizar a diluição da mesma em água e posterior medições de pH e condutividade elétrica (CE). Tais avaliações permitem o manejo correto da solução nutritiva. (FACTOR, 2007; LIRA *et al.*, 2017).

Análises de pH, que é o responsável por manter os nutrientes disponíveis na solução nutritiva, devem ser feitas frequentemente. O motivo é que a adequação de sua acidez é importante para o desenvolvimento das culturas em sistemas hidropônicos. A maioria das culturas tem seu melhor desenvolvimento com o pH entre 5,0 e 6,5, sendo que o pH superior a 6,5 precipita elementos da solução nutritiva, e o pH abaixo de 4,0 retarda o crescimento das plantas. (FONSECA *et al.*, 2005). Apesar de as plantas poderem se desenvolver dentro do intervalo de pH entre 4,0 e 8,0 o melhor é que o pH da solução nutritiva utilizada esteja entre 5,0 e 7,0. (LIRA *et al.*, 2017). Em plantas de alface cultivadas em baixas condições de CE (0,4 mS cm⁻¹) foi possível observar deficiência de nitrogênio e potássio. (HUETT, 1994). A

disponibilidade de nitrogênio no solo afeta diretamente os comprimentos de raiz. (MURAKAMI; YONEYAMA, 1988).

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva completa utilizada em experimento aeropônico para produção de mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas*), Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), 2019.

Reagentes	Concentração da solução estoque (g/L de água)	Volume da solução estoque por L da solução final completa (mL L ⁻¹)
KHPO ₄	136,09	1
KNO ₃	101,11	5
Ca(NO ₃) ₂	26,16	5
MgSO ₄ .7H ₂ O	247,47	2
Solução Micro		1
HBO	2,86	
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81	
ZnCl ₂	0,10	
CuCl ₂	0,04	
Solução Fe-EDTA		1
FeSO ₄ .7H ₂ O	24,9	
Na-EDTA	33,2	
NaOH 1N	89 mL	

Fonte: Hoagland e Arnon, 1950.

A água utilizada para compor a solução nutritiva deve ser de boa qualidade, ou seja, que pode ser consumida pela população e o intervalo ótimo de condutividade elétrica é de 0,75 a 2,0 dS m⁻¹. (LIRA *et al.*, 2017). Estudos realizados com alface utilizam a CE entre 1,6 e 2,5 dS m⁻¹, enquanto em pesquisas que utilizaram a batata-doce como cultura de interesse a CE foi entre 1,1 e 1,2 dS m⁻¹. (HELBER JÚNIOR *et al.*, 2008; MORTLEY *et al.*, 1998). A concentração de íons de interesse na solução nutritiva é proporcional aos valores de CE. (GONDIM *et al.*, 2010).

Além da aeroponia ser bastante aplicada à cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), culturas ornamentais e de horticultura também podem ser bem desenvolvidas neste sistema. (MAROYA; BALOGUN; ASIÉDU, 2014). Uma das culturas de interesse a ser produzida em sistema aeropônico é a da batata-doce, por ser de fácil propagação, e porque através desta metodologia seria possível entender o mecanismo que faz com que algumas raízes se tornem tubérculos. (CHRISTIE; NICHOLS, 2004).

Ao realizar experimentos com mudas de batata-doce em sistema aeropônico Villordon (2016) pôde observar que ao utilizar uma variação da solução nutritiva completa (com ausência de nitrogênio após 20 dias do início do experimento) obteve raízes de armazenamento aos 35 dias. Experimentos com mudas de inhame (*Dioscorea* sp.) em aeroponia constataram o que aos primeiros 10 dias após a acomodação das mudas no sistema 50% delas apresentavam raízes e esta porcentagem chegou a 85% na semana 3 após o plantio, sendo feita a colheita dos tubérculos após quatro meses do início do experimento. (MAROYA; BALOGUN; ASIEDU, 2014).

É possível utilizar caixas plásticas como câmaras de aeroponia acomodando as mudas em aberturas na tampa da caixa e fixadas na mesma por colares de espuma permitindo então que as raízes fiquem no interior da caixa e a parte aérea das mudas fique exposta no ambiente externo. No experimento realizado por Villordon (2016) uma bomba de ar foi usada juntamente com um “Venturi Mister” (uma tecnologia que produz uma névoa da solução nutritiva escolhida e tem como objetivo ser utilizada em sistemas aeropônicos substituindo as bombas d’água) para aplicar solução nutritiva nas raízes em intervalos de tempo estabelecidos por um temporizador comercial. A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland e Arnon (1950), que se encontrava dentro da câmara de aeroponia e era repostada quando necessário.

Experimentos realizados anteriormente demonstraram que a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) não permitia a alteração de coloração ou o aumento em diâmetro das raízes das mudas de genótipos de interesse, portanto, optou-se pela remoção do nitrogênio após 20 dias do início do experimento. Desta forma, aos 35 dias após o início do experimento, observou-se raízes de armazenamento desenvolvidas em sistema aeropônico. (VILLORDON, 2016).

As mudas utilizadas em pesquisas relacionadas com aeroponia geralmente passam por um processo para desenvolvimento de raízes antes de serem acomodadas no sistema aeropônico, sendo transplantadas a este somente após entre 15 e 20 dias de seu desenvolvimento inicial e desenvolverem raízes primordiais. (CALORI *et al.*, 2017; BIDDINGER *et al.*, 1998; SILVA FILHO, 2020). Entretanto, em pesquisas realizadas com inhame utilizando-se mudas com raízes primordiais e mudas colocadas diretamente no sistema aeropônico sem passar pelo processo de formação inicial de raízes não apresentaram diferenças em seu desenvolvimento. (MAROYA; BALOGUN; ASIEDU, 2014). Uma das técnicas de produção de mudas é a utilização de ponteiras com aproximadamente 10 a 12 centímetros de comprimento, de onde são destacadas as folhas adultas permanecendo somente as folhas jovens das pontas, dando origem a mudas vigorosas. (CHENG; CHU, 2004).

O número de folhas em diferentes intervalos de tempo é um parâmetro importante quando se trata de avaliar o crescimento das mudas. (FACTOR, 2007; CALORI, 2017). Outro fator importante a ser analisado para se entender o desenvolvimento da cultura em questão em aeroponia é o desenvolvimento de raízes, quando a principal característica analisada é a produção de minitubérculos, como por exemplo de batata e inhame. (SILVA FILHO *et al.*, 2020; ONTENG - DARKO *et al.*, 2017). Entretanto, ao acompanhar o desenvolvimento inicial das raízes de mudas em aeroponia, as medições de comprimento das mesmas podem ser realizadas com o auxílio de uma régua milimetrada. (VILLORDON, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Com o objetivo de produzir batatas-doces em sistema aeropônico, visando utilizá-las como material propagativo (sementes), os experimentos foram realizados de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020 em uma casa de vegetação (coberta por plástico de 150 µm e sistema PAD-FAN® de resfriamento) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizada na cidade de Ponta Grossa (Latitude Sul 25° 5' 40", Longitude Oeste 50° 9' 48"), no estado do Paraná.

A cidade de Ponta Grossa fica a 956 m de altitude e a classificação climática de acordo com Köppen é temperado. Destaca-se por ter temperaturas médias abaixo de 18° C e 22° C no mês mais frio e no mês mais quente do ano, respectivamente (IAPAR, 2019).

4.2 GENÓTIPOS

Todos os genótipos utilizados de batata-doce (*Ipomoea batatas*) no experimento foram selecionados dentro da coleção de materiais de batata-doce que o Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG) possui. A coleção do Lama conta com 21 diferentes genótipos de batata-doce entre materiais registrados e não identificados (Tabela 02). As descrições morfológicas dos genótipos selecionados para a realização desta pesquisa foram descritas por Evangelista (2018).

Tabela 2 - Características morfológicas referente às folhas e tubérculos dos genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) selecionados para realização do experimento de produção de mudas em aeroponia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa (PR), 2019.

Genótipo	PG ¹	CFM ²	TAM ³	CPPE ⁴	CPPO ⁵
BD-1	Lobulada	Verde	Médio	Creme	Amarelo pálido
BD-3	Lanceolada	Verde	Pequeno	Roxo escuro	Creme
BD-8	Triangular	Verde	Médio	Creme	Amarelo pálido
BD-9	Quase dividida	Verde	Médio	Marrom alaranjada	Amarelo escuro
BD-14	Lobulada	Verde	Médio	Amarelo	Fortemente pigmentado com antocianinas
BD-15	Triangular	Verde	Médio	Creme	Creme escuro
BD-16	Cordada	Verde	Médio	Rosada	Creme escuro
BRS-Cuia	Triangular	Verde	Médio	Branco	Creme
Beauregad	Lobulada	Verde	Médio	Amarelo	Alaranjado escuro

¹PG: perfil geral da folha; ²CFM: cor da folha madura; ³TAM: tamanho da folha (pequeno = < 8 cm; médio: {8-15 cm}; grande: {16-25 cm}; muito grande: {> 25 cm}); ⁴CPPE: cor predominante da periderme; ⁵CPPO: cor predominante da polpa.

Fonte: Adaptada de EVANGELISTA, 2018.

4.3 SISTEMA AEROPÔNICO

O sistema aeropônico foi construído em uma mesa com superfície de lâmina de madeira de dimensões de 0,60 m x 0,40 m x 0,75 m. Na superfície da mesa foram feitas duas perfurações de 0,05 m para acomodar as mudas dos genótipos selecionados.

Para a realização deste ensaio foram utilizados dois genótipos distintos da espécie *Ipomoea batatas*, conhecida popularmente como batata-doce. Os genótipos selecionados foram: BD-9 e BD-16, por serem bastante cultivados na região.

As mudas foram acomodadas em copos plásticos (Cristalcopo[®]) de 0,18 L contendo substrato com a composição de solo retirado dos 0,1 m da camada superior de floresta nativa da Fazenda Escola Capão da Onça, esterco e calcário, em uma proporção de 2:2:1. Nesta primeira etapa, 50% das raízes das mudas estavam no solo e 50% no ar para calibração do sistema de aeroponia.

Ao serem colocadas sobre os furos da mesa, as raízes das mudas foram mantidas em exposição no interior da mesa que foi revestida com lona plástica de cor preta (De Paiva[®] de 0,10 µm) para que seu interior estivesse completamente escuro e a umidade fosse mantida conforme pede a técnica de aeroponia; entre 50 e 70%. (CALORI *et al.*, 2017; SHARMA *et al.*, 2018).

Nas raízes foi aplicado o biofertilizante Supermagro[®] preparado no Lama/UEPG conforme especificações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, MAPA, 2016) em uma concentração do biofertilizante de 10%. A composição e o modo de preparo do Supermagro[®] podem ser observadas nas Tabela 3 e Figura 1, respectivamente. Por ser uma solução nutritiva bastante utilizada pelo Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama/UEPG), optou-se pela utilização deste biofertilizante para calibração do sistema nesta primeira fase da pesquisa.

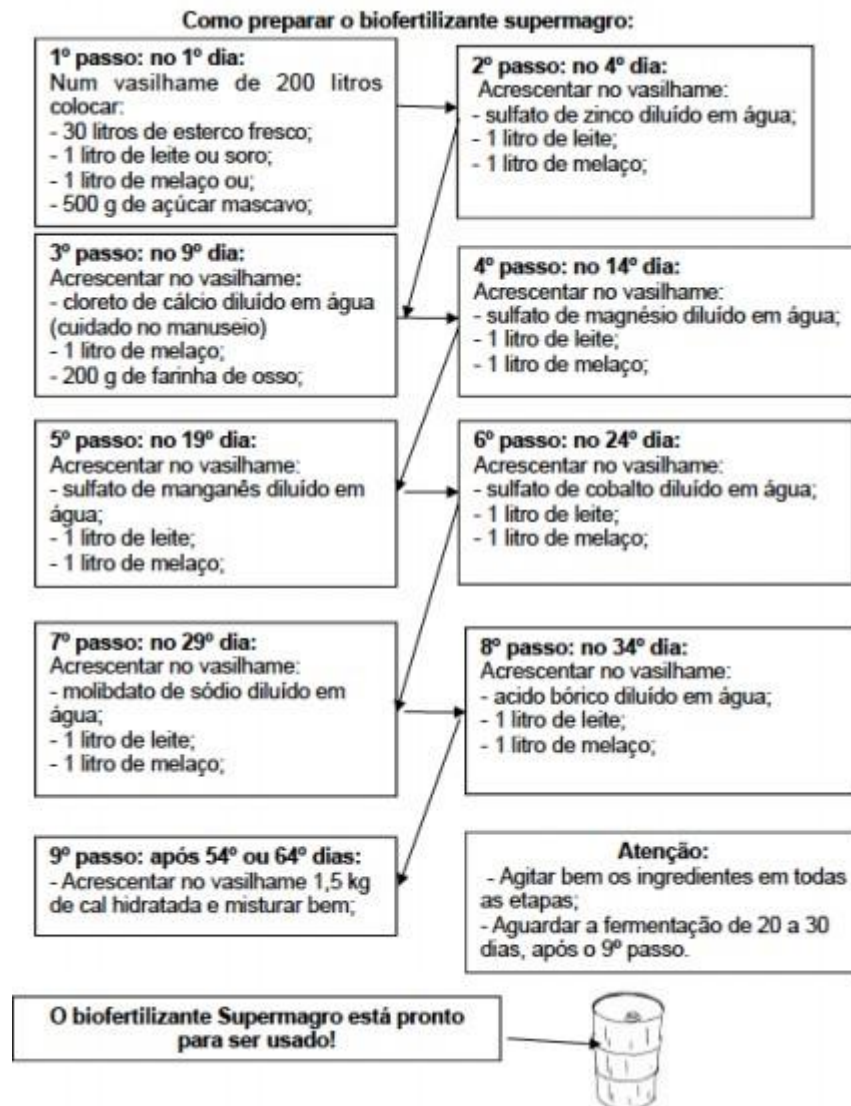
Tabela 3 - Composição do biofertilizante Supermagro® conforme especificações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.

Ingrediente	Quantidade
Vasilhame de 200L	1
Sulfato de zinco	2 kg
Cloreto de cálcio	2 kg
Sulfato de magnésio	2 kg
Sulfato de Manganês	300g
Sulfato de Cobalto	50g
Molibdato de sódio	100g
Ácido bórico ou bórax	1kg ou 1,5kg
Cal hidratada	1,5kg
Leite ou soro de leite	8L
Melaço ou açúcar mascavo	8L ou 4kg
Farinha de osso	200g
Esterco fresco	50Kg
Água	Para completar 200L do biofertilizante

*Usar luvas para o manuseio dos ingredientes do biofertilizante Supermagro

Fonte: BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Ficha Agroecológica: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas 13. Preparo do Biofertilizante Supermagro.** 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/13-preparo-do-biofertilizante-supermagro.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

Figura 1 - Etapas para o preparo do biofertilizante Supermagro® conforme especificações do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.



Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ficha Agroecológica: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas 13. Preparo do Biofertilizante Supermagro**. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/13-preparo-do-biofertilizante-supermagro.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

Para compor o biofertilizante Supermagro® foi utilizada água do sistema de abastecimento da UEPG e tratada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR®) cujo laudo pode ser encontrado na Tabela 4. Embaixo das mudas foi acomodado um recipiente plástico para comportar o excesso de líquido que caía quando o biofertilizante era aplicado nas raízes. Tal excesso era descartado pois a etapa estava na fase de calibração do sistema.

Tabela 4 - Registro sobre as características da água distribuída no município de Ponta Grossa (PR) de 27 de dezembro de 2019 a 27 de janeiro de 2020.

Parâmetro	Média dos últimos 30 resultados	Mínimo/ Máximo permitido	Unidade
Cor	2,56	15,0	uH- Un.Cor
Fluoretos	0,8	0,6 a 1,1	mg/ L F ₂
Turbidez	0,43	5,0	NTU
pH	6,9	6,0 a 9,5	Un. pH
Cloro Residual	0,8	0,2 a 5,0	mg/ L Cl ₂
Alumínio	0,092	0,2	mg/ L Al ₃
Ferro Total	0,03	0,3	mg/L Fe
Manganês	0,01	0,1	mg/L Mn
Microcistinas	0	1,00	ug/ L ₁
Coliformes Totais	0	0 (Ausente)	
<i>Escherichia coli</i>	0	0 (Ausente)	

Fonte: SANEPAR[®]. **Análise da qualidade da água**. 2020. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/agua/analise-da-qualidade-da-agua>. Acesso em: 25 jan. 2020.

As aplicações do biofertilizante nas raízes ocorreram de forma manual com utilização de pulverizador da marca Jacto[®], modelo Supremo, com capacidade de 16 L, quatro vezes ao dia de segunda-feira à sexta-feira, com intervalos de três horas durante as aplicações que iniciavam às 08:30 e terminavam às 17:30. As aplicações do biofertilizante se deram de forma manual, pois não havia conhecimento total da técnica de aeroponia para as aplicações serem automatizadas.

A partir do oitavo dia, as mudas de batata-doce foram transportadas para um local dentro da casa de vegetação onde não há irrigação, para que desta forma fosse possível observar seu desenvolvimento recebendo apenas água e nutrientes via raiz; ou seja a técnica de aeroponia. As aplicações e intervalos entre aplicações continuaram sendo feitas da mesma forma durante seis dias. Como o sistema utilizado nesta etapa contava apenas com duas mudas, não foi possível realizar análise estatística, avaliando-se somente características observadas nas raízes e folhas produzidas pelas mudas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA – PRIMEIRO TESTE

Nesta etapa foram utilizados apenas dois genótipos, BD-9 e BD-16, contando apenas com uma muda de cada um. Estes genótipos, foram escolhidos pela sua importância local e facilidade de proliferação. As mudas que foram plantadas nos copos plásticos foram acomodadas na mesa de aeroponia e receberam o biofertilizante Supermagro[®] como solução nutritiva e aplicações da mesma de forma manual. Após 13 dias, dias foi possível perceber o escurecimento das raízes e clorose das folhas, resultando na morte das mudas. Atribui-se a morte das mudas à insuficiência de nutrientes fornecidos via raiz e/ou falta de água.

Em trabalho realizado por Silva *et al.* (2011) com a cultura do pepino (*Cucumis sativus*), foi identificado que a omissão de nitrogênio e ferro na solução nutritiva limitou o crescimento da cultura. Viégas *et al.* (2013) ao trabalharem com pimenta-longa (*Piper hispidinervum*) e utilizando a omissão de micro e macronutrientes, asseveram que a deficiência do nitrogênio foi a primeira se manifestar (aos 13 dias) sendo possível observar a clorose de folhas e posterior necrose das mesmas. Ao estudar a omissão de micro e macronutrientes na cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas*), Maia *et al.* (2014) destacam que as maiores restrições à cultura se deram pela omissão do nitrogênio, sendo registrado a redução de número de folhas, área foliar e também do comprimento radicular; quando da omissão deste componente. Tal fato pode ter ocorrido no experimento, optando-se por mudar a concentração nutritiva.

5.2 CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA – SEGUNDO TESTE

Com o entendimento de que o experimento necessitava ser expandido e buscando a calibração do sistema de retorno, necessário a um sistema aeropônico, foi realizado o segundo teste. Nesta etapa foram selecionados oito genótipos de batata-doce da coleção do Lama/UEPG.

Foram selecionados os genótipos que haviam sido utilizados no primeiro ensaio (BD-9 e BD-16), bem como outros quatro genótipos não identificados (BD-1, BD-3, BD-14 e BD-15) e dois genótipos identificados (BRS-Cuia e Beauregard[®]). Quatro repetições de cada um dos oito genótipos foram realizadas, totalizando 64 mudas neste ensaio. Desta maneira um total de 21 graus de liberdade no resíduo; suplantando os 10 graus de liberdade no resíduo, tidos

como mínimo necessário para validar estatisticamente um experimento científico. (BANZATTO; KRONKA, 2006).

O segundo teste foi realizado também com copos plásticos de 0,18 L contendo o mesmo substrato do primeiro teste. Tal procedimento foi necessário para desenvolver as mudas até que se determinasse a calibração da mesa de aeroponia para produção das plantas. Como o primeiro protótipo de mesa para produção de mudas em aeroponia era pequeno e acondicionava apenas duas mudas, optou-se por confeccionar uma estrutura maior.

A mesa foi construída em ferro, pela serralheria da UEPG, com medidas de 1,70 m x 0,55 m x 0,80 m, com uma tela de ferro medindo 0,04 m x 0,04 m como superfície. Assim, a nova estrutura ficou com capacidade para acondicionar 128 mudas, com espaçamento entre elas de 0,08 m. Em condições de campo o espaçamento indicado entre plantas de batata-doce é de 0,25 e 0,40 m. (EMBRAPA, 1995). Contudo, é sabido que ao utilizar a técnica de aeroponia o espaçamento entre plantas é menor, como ocorre por exemplo com a cultura da batata, que em condições de campo tem espaçamento entre plantas de 0,30 e 0,40 m e em aeroponia passa a ser 0,15 m (FACTOR, 2007). Visando manter as raízes no escuro e a umidade no interior da mesa como exige um sistema aeropônico, a mesma foi envolta por uma lona preta da marca De Paiva[®] de 0,10 µm. Esta lona foi escolhida devido sua maior espessura, o que proporcionou a escuridão necessária ao sistema.

Foi realizada a aplicação manual de Supermagro[®] nas raízes, nos mesmos horários e volumes da calda que na primeira etapa do experimento. Entretanto, a frequência das aplicações diminuiu, já que o biofertilizante passou a ser aplicado a cada dois dias para que fosse possível observar o comportamento das mudas em intervalos maiores da aplicação do Supermagro[®]. Nesta etapa a mesa de aeroponia foi colocada novamente na área de irrigação automática da casa de vegetação, já que o amarelamento das folhas na primeira etapa pode ter sido resultado do pouco fornecimento de água que estava sendo feito somente via raiz.

Paralelamente à produção de mudas em copos com substrato, mudas dos mesmos genótipos foram alocadas em água para que após desenvolverem pequenas raízes pudessem ser transferidas para a mesa de aeroponia. Foram utilizados copos plásticos de 0,18 L para colocar a água utilizada no desenvolvimento das mudas. A água utilizada foi retirada do sistema de abastecimento da UEPG e tratada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR[®]), com constituição detalhada na Tabela 2.

O objetivo desta etapa foi observar as diferenças de respostas entre as mudas que continham solo, e as que não continham; já que um sistema aeropônico é desenvolvido na

ausência de solo. Foram feitas oito mudas dos mesmos genótipos utilizados com solo, totalizando novamente 64 mudas.

Após acomodar as mudas sem substrato na mesa de aeroponia foi diminuída a concentração do Supermagro[®] de 10% para 1%, devido à suspeita de ser esta a causa da morte das mudas na primeira etapa. As aplicações do biofertilizante foram feitas da mesma forma que na primeira etapa.

Este ensaio chegou ao fim após 12 dias ao se constatar que as mudas sem solo não sobreviveram às aplicações de biofertilizante enquanto as mudas que continham solo, apesar de apresentarem clorose das folhas e escurecimento radicular sobreviveram, evidenciando o fator presença do solo como uma das razões pelas quais as mudas foram capazes de sobreviver por mais tempo. Não foi possível realizar as análises estatísticas com as mudas, pois muitas destas haviam morrido ao final do teste, e as que sobreviveram não apresentavam boas características de desenvolvimento foliar ou radicular.

A partir dos testes que se seguiram, foi adquirido o conhecimento para o desenvolvimento de um sistema aeropônico automatizado. Desta forma, a solução nutritiva pudesse ser reutilizada, corroborando com Villordon (2016), Sharma *et al.* (2018) e Wootton-Beard (2019).

5.3 ADEQUAÇÃO DA ESTRUTURA DE AEROPONIA E CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA – TERCEIRO TESTE

Para a realização desta etapa, uma mesa de ferro de medidas 1,60 m x 0,50 m x 1,50 m e superfície de tela de ferro de 0,04 m x 0,04 m, foi confeccionada pela UEPG para a realização desta fase do experimento em aeroponia. A estrutura de ferro da mesa foi pintada com tinta esmalte sintético na cor branca da marca Suvini[®], para evitar que o extravio da estrutura proporcione a ela maior vida útil.

A estrutura foi coberta por lona de polipropileno que contém um lado branco e um lado preto. Por apresentar maior espessura (200 µm), esta lona manteve escuridão total no interior da mesa, o que proporcionou a manutenção da umidade e escuridão que o sistema aeropônico exige. Abaixo da lona foram posicionadas placas plásticas que auxiliam no retorno da solução ao reservatório de 90L (Plasnew[®]). O reservatório também foi coberto por lona para evitar perda de solução para o ambiente externo, bem como a entrada de organismos que pudessem alterar a composição da solução nutritiva.

O sistema aeropônico deste experimento foi automatizado por uma placa Arduino® Uno que ativa uma bomba d'água. Esta placa funciona em linguagem de programação C, e este código pode ser observado na Figura 2. Uma linguagem de programação são as regras utilizadas para a construção de um programa de computador, e a linguagem utilizada pela placa neste experimento é classificada como de nível médio pela utilização de símbolos que representam de forma direta o código da máquina, além de símbolos mais complexos que podem ser convertidos por um compilador (SAUTER; AZEVEDO; KONZEN, 2020).

Figura 2 - Código de programação da placa Arduino® Uno utilizada em sistema aeropônico, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

```

1 #include <time.h>
2 int tempo_passado = 0, tempo_espera = 0, stat = -1;
3 void setup() {
4     pinMode(11, OUTPUT); // declara pino 11 como uma saída (pino da luz vermelha)
5     pinMode(12, OUTPUT); // declara pino 12 como uma saída (pino da luz verde e da bomba)
6 }
7 void on() {
8     digitalWrite(12, HIGH); // acende luz verde e liga a bomba
9     digitalWrite(11, LOW); // apaga luz vermelha
10    stat = 1; // grava situação como ligado
11 }
12 void off() {
13     digitalWrite(11, HIGH); // acende luz vermelha
14     digitalWrite(12, LOW); // apaga luz verde e desliga a bomba
15     stat = 0; // grava situação como desligado
16 }
17 void on_off() {
18     if (stat == 0) { on(); } // se a bomba estava desligada, liga a bomba
19     else { off(); } // senão, desliga a bomba
20 }
21 void wait() {
22     delay(1000); // aguarda 1 segundo
23     tempo_passado = tempo_passado + 1; // incrementa o tempo passado
24 }
25 void calculaTempoEspera() {
26     if (stat == -1) { tempo_espera = 60 * 0.5; } // ao ligar o sistema na tomada define o tempo de espera de meio minuto
27     else if (stat == 0) { tempo_espera = 60 * 1; } // se a bomba estiver desligada define o tempo de espera de 1 minuto
28     else { tempo_espera = 60 * 5; } // se a bomba estiver ligada define o tempo de espera de 5 minutos
29     on_off(); // liga ou desliga a bomba
30     tempo_passado = 0; // zera o tempo de espera
31 }
32 void loop() {
33     if (tempo_passado >= tempo_espera) { calculaTempoEspera(); } // se já passou o tempo esperado recalcula novo tempo de espera
34     wait(); // aguarda 1 segundo
35 }

```

Fonte: A autora, 2020.

A placa foi programada para que a partir do momento em que estava ligada levasse 30 segundos para começar a funcionar. Passados estes primeiros 30 segundos, a placa acionava um relé (Songle® 5v), permitindo a passagem de corrente elétrica por um minuto e interrompendo a corrente por cinco minutos, fazendo desta forma a bomba ligar e desligar. Para auxiliar a visualização de algum eventual problema, foram adicionados na placa (Arduino® Uno), Light Emitting Diode (LEDs) nas cores verde e vermelho que acendiam quando a placa deveria estar ligada e desligada, respectivamente.

A bomba d'água ligada à placa Arduino[®] foi do modelo Hb submersa Mascote 3/4''[®] da marca HB[®]. Esta bomba ficou suspensa por uma corda em um reservatório de plástico de capacidade de 60 L. Conforme alertam Makishima e Carrijo (2000) procurou-se utilizar um reservatório de cor escura para evitar a entrada de claridade que pudesse alterar a solução nutritiva ali armazenada.

A solução nutritiva foi levada através de canos PVC para pontas aspersoras posicionados em uma estrutura de madeira abaixo da tela da superfície da mesa, de modo que pudessem nebulizar a solução diretamente nas raízes das mudas. As pontas utilizadas são da marca Jacto[®], modelo JHC-02, que tem uma nebulização de jato em forma de cone, e trabalha em uma escala de pressão de 45 a 150 psi e uma escala de vazão de 0,8 a 1,45 L h⁻¹. Um desenho esquemático do sistema aeropônico pode ser observado na Figura 3.

Nesta etapa desenvolveu-se um sistema de retorno eficiente e também foi desenvolvida a automatização do sistema aeropônico, que permitiu a aplicação da solução nutritiva de forma automática (a intervalos de cinco minutos desligado e um minuto ligado), como deve ser um sistema de aeroponia conforme apontam Villordon (2016), Onteng-Darko (2017) e Sharma (2018).

Foram utilizadas duas soluções nutritivas diferentes em etapas distintas do experimento. A primeira foi uma solução nutritiva comercial da marca Altech Crop Science[®], cuja composição pode ser observada na Tabela 5. Esta solução nutritiva foi selecionada nesta etapa pois acreditou-se ser importante observar a resposta das mudas ao utilizar uma solução comercial quando o sistema aeropônico já estava próximo do ideal.

Para a realização desta etapa foram produzidas 12 mudas do genótipo BD-16, com 12 centímetros. Para a confecção das mudas foram selecionadas “ponteiras” dos vasos matrizes de batata-doce localizados na casa de vegetação da UEPG. O corte nas matrizes bem como o das folhas maduras foi feito com tesoura (Mundial[®] modelo 160/8N), permanecendo somente as folhas pequenas na ponta, conforme técnica apresentada por Cheng e Chu (2004) ao desenvolver mudas de tomateiro.

Logo após sua confecção, as mudas foram colocadas em mesa de aeroponia sem ser necessário passar pelo processo de desenvolvimento de raiz em água e solo. A sustentação das mudas na mesa se fez por meio de grampos plásticos da marca Plastibrasil[®], de modo que as raízes ficaram expostas no ar dentro da estrutura da mesa e a parte aérea das mudas ficou exposta no ambiente externo.

Para a realização desta etapa foi utilizada a solução nutritiva comercial da marca Altech[®] diluída em água (Tabela 2). Após realizar cinco testes de concentração com a solução nutritiva

comercial esta foi substituída pela solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), amplamente utilizada em estudos de aeroponia. A solução nutritiva da marca Altech[®] foi utilizada até todo o sistema estar próximo de produzir mudas de batata-doce por aeroponia.

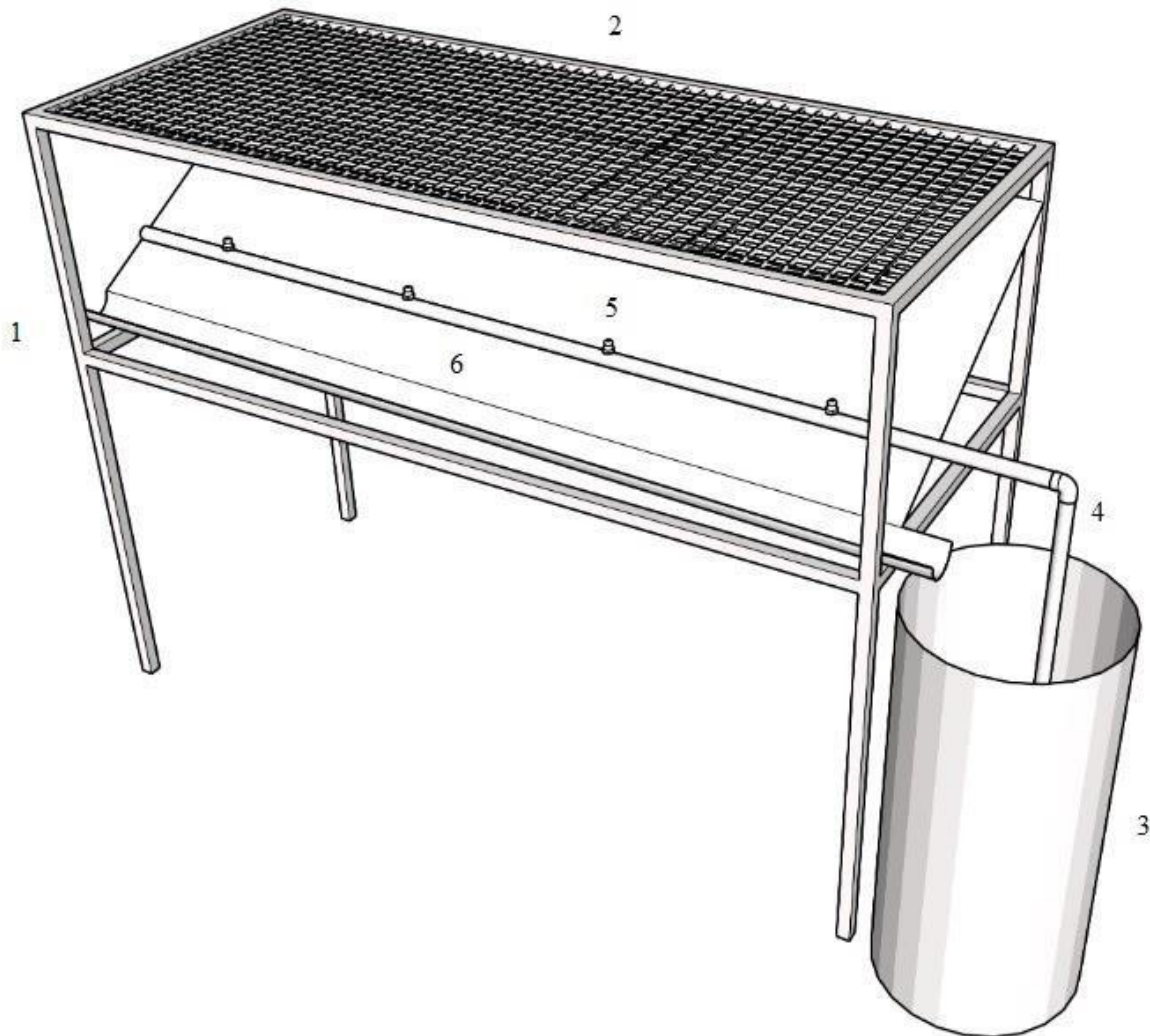
Na referida etapa, com objetivo de calibrar o sistema, utilizou-se reservatório de 60 L de cor escura, a fim de evitar a incidência de ondas eletromagnéticas solares que pudessem alterar a solução nutritiva ali armazenada e a solução nutritiva na concentração de 150mL 100 L⁻¹. Ao completar o volume da solução no reservatório e ligar o sistema novamente, foi percebido que as raízes apresentavam escurecimento após uma hora e meia.

Foi possível observar que as mudas estavam murchas e as raízes se mostraram escurecidas após esse tempo de funcionamento do sistema. Isto pode ter ocorrido devido à baixa concentração de oxigênio na solução nutritiva, conforme apontam Furlani *et al.* (2009), ou pela baixa disposição de nitrogênio na solução nutritiva que como apontam Silva (2011), Viégas *et al.* (2013) e Maia *et al.* (2014), portanto verificou-se a necessidade de alteração da concentração da solução nutritiva para os próximos ensaios, objetivando-se encontrar uma concentração ideal para o desenvolvimento das mudas.

Após realizar os ajustes necessários para evitar perda de solução nutritiva para o meio externo e a troca do reservatório para um com capacidade de 90 L e de cor escura conforme apontam Makishima e Carrijo (2000), a concentração da solução nutritiva foi ajustada para 90 mL 90 L. Foram utilizadas 12 novas mudas do genótipo BD-16 já que as do experimento anterior foram descartadas. Após sete dias, as raízes das mudas apresentaram total escurecimento e foram descartadas.

Como as mudas apresentaram a mesma resposta do ensaio anterior, supôs-se que a resposta obtida pelas mudas foi decorrente da concentração da solução nutritiva. Portanto, optou-se pela diluição da mesma, até que se atingiu-se a concentração de 45 mL 90 L⁻¹. Nesta etapa decidiu-se também que o experimento deveria ser expandido, então mais 12 mudas de quatro outros genótipos foram adicionados: BD-1, BD-15, Beauregard[®] e BRS Cuia. Após três dias que as raízes receberam a solução nutritiva nesta concentração, começou-se a perceber o escurecimento das mesmas, de modo que foi decidido interromper a utilização desta concentração e decidiu-se utilizar a concentração de 22,5 mL 90L⁻¹ no ensaio seguinte. Para evitar o descarte das mudas, foram feitos cortes de dois centímetros nas porções finais destas, sendo possível assim continuar a utilizá-las.

Figura 3 - Desenho esquemático de sistema aeropônico utilizado para produção de mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas*), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, 2020.



- 1 Estrutura de ferro da mesa;
- 2 Tela de ferro na superfície da mesa;
- 3 Reservatório da solução nutritiva e bomba d'água;
- 4 Canos de PVC responsáveis pelo transporte da solução nutritiva até os bicos de aspersão;
- 5 Bicos de aspersão;
- 6 Placas plásticas de auxílio ao retorno da solução nutritiva ao reservatório.

Fonte: A autora, 2020

Tabela 5 - Composição da solução nutritiva da marca Altech Crop Science®, utilizada em sistema aeropônico para produção de mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), 2019.

Componentes	%	g L ⁻¹
N (sol. H2O)	5,00	73,50
Ca (sol. H2O)	1,00	14,70
S (sol. H2O)	5,30	77,91
B (sol. H2O)	1,00	14,70
Cu (sol. H2O)	0,05	0,74
Mn (sol. H2O)	5,00	73,50
Mo (sol. H2O)	0,10	1,47
Zn (sol. H2O)	5,00	73,50
Carbono Orgânico	2,63	-

Fonte: Altech Crop Science®, 2019.

A última concentração utilizada da solução comercial foi de 11,25 mL 90L⁻¹, durante 30 dias. As 12 mudas dos quatro genótipos utilizados no ensaio anterior foram mantidas e foram adicionadas 12 mudas do genótipo BRS Cuia. As mudas se adaptaram melhor a esta concentração nos primeiros 15 dias do ensaio, pois desenvolveram raízes maiores e mais complexas, contando com o incremento de raízes adventícias, que em condições ideais se modificam em raízes tuberosas. Apesar de apresentarem melhor adaptação à esta concentração as mudas começaram a perder folhas a partir do 15º dia.

Com o objetivo de avaliar as condições de crescimento das mudas foram feitas contagem de folhas por muda, bem como a medição destas folhas (comprimento e largura) e também medição das raízes (comprimento) das mudas acomodadas no sistema aeropônico (Tabela 6). As medições realizadas nas folhas e raízes foram feitas com auxílio de régua graduada em milímetros. Não se realizou análise estatística devido ao fato de alguns genótipos apresentarem poucas mudas vivas, reduzindo o grau de liberdades no resíduo abaixo dos 10 aceitáveis. (BANZATTO; KRONKA, 2006).

O genótipo Beauregard® foi o que obteve melhores resultados em relação à porcentagem de mudas vivas ao final desta etapa, enquanto o genótipo BRS Cuia foi o que apresentou menor

porcentagem de mudas sobreviventes. Ao se tratar do número máximo de folhas observado por muda, o genótipo BD-1 foi o que mais se destacou, chegando a apresentar oito folhas, enquanto os genótipos Beauregard® e BRS Cuia desenvolveram mudas com apenas três folhas. Em relação ao comprimento médio de raiz o genótipo BD-15 foi o de maior destaque, com 3,44 cm de raiz, enquanto o genótipo BD-16 foi o que desenvolveu comprimento médio de raízes menor.

Tabela 6 - Características dos cinco genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), após 30 dias de cultivo em aeroponia, em solução nutritiva de concentração de 11,25 mL 90L⁻¹, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019.

Genótipo	Mudas vivas (%)	Máximo de folhas	Comprimento médio das raízes (cm)
Beauregard	83	03	2,82
BD-1	67	08	2,25
BD-15	67	03	3,44
BD-16	67	05	1,76
BRS Cuia	33	03	1,58

Fonte: A autora, 2020.

Na Tabela 7 podem ser observados os tamanhos máximos de comprimento e largura (cm) das folhas produzidas pelas mudas de batata-doce no sistema aeropônico desenvolvido nesta pesquisa. É possível perceber que além de ter sido o genótipo que mais desenvolveu folhas, BD-1 também foi o genótipo que obteve maiores dimensões de folha, tanto em comprimento quanto em largura, enquanto o genótipo BRS Cuia obteve as menores dimensões de tamanho de folhas.

De acordo com Huaman (1996) as folhas de todos os genótipos trabalhados são classificadas como de tamanho médio (8-15 cm), entretanto a Tabela 5 apresenta resultados inferiores. Tal fato pode ter ocorrido em concordância com Noboa *et al.* (2019), que afirmam que por trabalhar em adensamentos maiores que em campo os sistemas hidropônicos podem produzir folhas com menores dimensões.

Como esta foi a última e melhor concentração da solução nutritiva comercial testada, mensurou-se o potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) da mesma a partir de amostras de 0,1 L coletadas a cada quatro dias e encaminhadas ao Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (LPRH/UEPG). Na Tabela 8 estão as medidas médias de pH e CE das amostras coletadas da solução nutritiva na concentração de 11,25 mL 90 L⁻¹, e os valores ideais para estes parâmetros segundo a bibliografia.

Uma das consequências do alto valor de pH da solução nutritiva poderia ser a precipitação dos nutrientes presentes na mesma, o que ocasionaria o valor de CE abaixo do

ideal exposto por Helber Júnior *et al.* (2008), corroborando com o afirmado por Fonseca *et al.* (2005) e Mortley *et al.* (2008). Uma das causas para o não desenvolvimento das mudas pode ter sido a CE da solução nutritiva estar baixa levando à deficiência de nitrogênio corroborando com o apontado por Huett (1994), Silva (2011), Viégas *et al.* (2013) e Maia *et al.* (2014).

Tabela 7 - Tamanhos máximos de comprimento e largura (cm) das folhas de mudas de cinco genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), após 30 dias de cultivo em aeroponia em solução nutritiva de concentração de 11,25 mL 90L⁻¹, em estufa agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná.

Genótipo	Comprimento máx. (cm)	Largura máx. (cm)
Beauregard®	4,6	3,7
BD-1	7,5	10,0
BD-15	4,6	5,1
BD-16	5,5	5,7
BRS Cuia	3,5	3,6

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 8 - Média de pH e CE de amostras de solução nutritiva comercial na concentração de 11,25 mL 90L⁻¹ coletadas em novembro de 2019, Ponta Grossa, Paraná.

Variável	Média das amostras	Ideal
pH	7,53	entre 5,0 e 7,0
CE	0,2278	entre 1,1 e 1,2 dS m

Fonte: A autora, 2020.

Apesar de ter sido constatado o desenvolvimento de raízes adventícias, que em condições ideais se diferenciariam em raízes de armazenamento, não foi possível observar tal feito, levando ao entendimento de que melhorias na solução nutritiva deveriam ser realizadas. Outro fator importante observado nesta etapa foi de que as mudas estavam sofrendo estrangulamento pelo uso dos grampos plásticos que as sustentavam na mesa de aeroponia, portanto a substituição destes por elásticos é recomendada em trabalhos subsequentes.

5.4 CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA – QUARTO TESTE

Nesta etapa houve a substituição da solução da nutritiva comercial pela solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), que foi desenvolvida no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG). A composição desta solução pode ser observada na Tabela 7. Optou-se pela substituição da solução nutritiva comercial pela de Hoagland e Arnon (1950) visando a calibração do sistema aeropônico, já que esta solução nutritiva é amplamente utilizada em estudos de hidroponia e aeroponia com diversas culturas, conforme estudos realizados por Franco e Prado (2006); Cometti *et al.* (2008); Lacerda *et al.* (2012); Santos *et al.* (2014) e Lima (2019).

A solução nutritiva completa foi diluída em água tratada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR-), cujo laudo relativo à qualidade da água pode ser encontrado na Tabela 2. Optou-se utilizar a concentração de 0,5% em concordância a estudos conduzidos por Villordon (2019) onde foi possível observar o desenvolvimento de raízes de armazenamento.

Foram utilizadas 12 mudas de cada um dos cinco genótipos selecionados anteriormente: Beaugard, BD-1, BD-15, BD-16 e BRS Cuia, sendo que estas foram feitas da mesma forma que na etapa anterior, conforme Cheng e Chu (2004). A medição das folhas continuou sendo realizada a intervalos de quatro dias.

A porcentagem de mudas vivas de cada genótipo ao final desta etapa, que teve duração de 45 dias, bem como o número máximo de folhas desenvolvidas e o comprimento médio de raiz (Tabela 9.). É possível perceber que deve-se dar destaque ao genótipo BD-1, pois ele obteve o melhor desempenho em todas as variáveis avaliadas. Este genótipo e o BD-15 já haviam apresentado a mesma porcentagem de mudas sobreviventes ao final do ensaio quando utilizada a solução nutritiva comercial, entretanto houve queda desta porcentagem para os genótipos Beaugard e BD-16 com o uso da solução completa de Hoagland e Arnon (1950). O único genótipo que contou com maior porcentagem de mudas sobreviventes ao final do ensaio ao utilizar-se a solução nutritiva completa foi o BRS Cuia.

Em relação ao número máximo de folhas observado, apenas o genótipo BD-1 não apresentou declínio em relação aos resultados obtidos ao usar solução nutritiva comercial. O número máximo de folhas observadas por este genótipo foi o mesmo em ambas as soluções. É válido salientar que apesar de terem produzido menos folhas por muda, estas permaneceram nas mudas por mais tempo do que ao usar a solução nutritiva comercial como fonte de nutrientes.

Outro fator importante é que todos os genótipos apresentaram aumento do comprimento médio das raízes quando nutridos com a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950). Destacam-se nesta característica os genótipos BD-16 e BD-1 que tiveram um aumento de 5,59 centímetros e 5,92 centímetros no comprimento médio de suas raízes ao utilizar a solução nutritiva completa.

Tabela 9 – Características da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), após 45 dias de cultivo em aeroponia, em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) de concentração de 0,5%, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019.

Genótipo	Mudas vivas (%)	Máximo de folhas	Comprimento médio das raízes (cm)
Beauregard®	17	02	5,46
BD-1	67	08	8,17
BD-15	67	02	5,17
BD-16	08	04	7,75
BRS Cuia	42	03	2,95

Fonte: A autora, 2020.

Os dados referentes ao tamanho máximo das folhas (comprimento e largura) (Tabela 10) evidenciaram que o genótipo que apresentou maior tamanho de comprimento e largura das folhas foi o BD-1, que já tinha se destacado nesta análise quando utilizada a solução nutritiva comercial. Outros genótipos que se destacaram ao levar em consideração o tamanho das folhas foram BD-15 e BRS Cuia, onde foi possível observar folhas atingindo maior comprimento e largura quando comparadas às desenvolvidas enquanto as mudas recebiam nutrição da solução nutritiva comercial.

O genótipo Beauregard® apresentou diminuição do comprimento, mas aumento da largura máxima da folha, enquanto os genótipos BD-1 e BD-16 apresentaram folhas mais curtas e estreitas ao utilizar a solução nutritiva completa como fonte de nutrientes. Foi observado que os tamanhos das folhas desenvolvidas quando utilizada a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) são menores do que os expressos por Huaman (1996), corroborando com Noboa *et al.* (2019).

Tabela 10 - Tabela 10 - Tamanhos máximos de comprimento e largura (cm) das folhas de mudas de cinco genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), após 45 dias de cultivo em aeroponia em solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) de concentração de 0,5%, em casa de vegetação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019.

Genótipo	Comprimento máx. (cm)	Largura máx. (cm)
Beauregard®	4,1	3,9
BD-1	7,3	8,0
BD-15	5,7	6,9
BD-16	4,2	5,0
BRS Cuia	4,0	5,5

Fonte: A autora, 2020.

Amostras de 0,1 L de solução nutritiva coletadas nos mesmos intervalos que a solução anterior e foram encaminhadas ao Laboratório de Pesquisa em Recursos Hídricos (LPRH/UEPG) onde também foram realizadas análises de potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE). (Tabela 11).

Tabela 11 - Média de pH e CE de amostras de solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), na concentração de 0,5%, coletadas em dezembro de 2019 e janeiro de 2020, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, 2019-2020.

Variável	Média das amostras	Ideal
pH	7,1	entre 5,0 e 7,0
CE	0,134	entre 1,1 e 1,2 dS m ⁻¹

Fonte: A autora, 2020.

Não houve o escurecimento das raízes durante este teste, o que pode indicar que a concentração de oxigênio presente nesta solução nutritiva não era ineficiente, corroborando com Furlani *et al.* (2009). O pH manteve-se mais próximo do ideal apontado por Lira *et al.* (2017), o que pode ter proporcionado melhor desenvolvimento das raízes pois pode ter precipitado menos elementos da solução nutritiva como afirma Fonseca *et al.* (2005).

A média das medidas de condutividade elétrica (CE) observadas estavam abaixo da considerada ideal por Helber Júnior *et al.* (2008) e Mortley *et al.* (1998), e também abaixo da média observada ao utilizar a solução nutritiva comercial. Tal feito pode ter limitado o

crescimento das raízes, já que CE baixas podem levar à deficiência de nitrogênio que está diretamente relacionado ao desenvolvimento radicular como apontado por Murakami e Yoneyama (1988) e Huett (1994).

Entretanto, ao utilizar a solução nutritiva completa, apesar das mudas apresentarem raízes longas e desenvolvidas, não foi possível observar o aumento de diâmetro ou mudança de coloração destas, o que indica a diferenciação em raízes de armazenamento, corroborando com estudos conduzidos por Villordon (2016). Melhores resultados foram encontrados por este pesquisador quando houve a omissão do nitrogênio na solução nutritiva 20 dias após o início da pesquisa.

Ao comparar o uso da solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) a outras três soluções utilizadas em pesquisa de nutrição mineral, Franco e Prado (2006) observaram que não houve diferença entre elas em relação ao desenvolvimento e eficiência nutricional. Cuzzuol *et al.* (2005) desenvolveram uma solução nutritiva específica para a cultura que estavam estudando (*Vernonia herbacea*) e ao compará-la com a solução completa de Hoagland e Arnon (1950), puderam perceber que a solução específica foi mais eficaz na produção de rizóbios e frutanos (objetivo do estudo), enquanto a solução de Hoagland e Arnon foi recomendada para crescimento da parte aérea.

A exemplo do que ocorreu com Franco e Prado (2006) ao trabalharem com goiabeira, também fica prejudicada a comparação bibliográfica entre trabalhos que relatam uso de solução nutritiva ideal para a cultura da batata-doce, visto que estes são inexistentes.

Entretanto, ao avaliar as duas soluções nutritivas utilizadas nesta pesquisa, Altech Crop Science e a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), pode-se observar que segunda solução apresentou resultados superiores para a variável comprimento médio de raiz, que merece destaque, já que é a partir do desenvolvimento radicular que se desenvolvem as raízes tuberosas.

Utilizar a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) com a retirada do nitrogênio após 20 dias do início do experimento conforme Villordon (2019), pode levar ao desenvolvimento de batatas-doce em aeroponia. Entretanto vale ressaltar que melhorias no sistema aeropônico desenvolvido nesta pesquisa, como melhorar o controle da temperatura no interior do sistema e da solução nutritiva, também podem levar a resultados positivos na produção de batatas-doce-ementes. Alterar a composição nutritiva da solução nutritiva de modo a desenvolver uma que seja ideal para a cultura da batata-doce é importante para a eficácia de trabalhos realizados em aeroponia.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que para o desenvolvimento radicular de batata-doce, a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) é mais indicada quando comparada à solução nutritiva comercial utilizada nas primeiras etapas da pesquisa. Alguns ajustes precisam ser realizados na solução nutritiva completa utilizada de modo a permitir a diferenciação das raízes em raízes de armazenamento, como relatado na literatura. Ajustes no sistema aeropônico são necessários para torná-lo mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, J.; SEIXAS FILHO, J.T. A viabilidade da agricultura urbana através da hidroponia e do associativismo/cooperativismo. (In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 3., 2006, Rio de Janeiro.) 140p. **Anais**. {Rio de Janeiro: AEDB, 2006. SEGeT 2006}. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/artigos2006.php?pag=14>. Acesso em: 02 fev. 2020.
- ACUÑA, E. *et al.* Bioethanol Potential from high density short rotation woody crops o marginal lands in central Chile. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 133-145, 2017. DOI: 10.1590/01047760201723012278.
- ADACHI, K. *et al.* Transplantation of half-cut tuber seedlings provides enhanced yields over conventional sprouted-vine panting in sweet potato cultivar “Murasakimasari”. **Plant Production Science**, v. 14, n. 3, p. 291-297, 2011. DOI: 10.1626/pp.s.14.291.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002, 153p.
- AZEVEDO, A. N. G.; LIMA, B. G. A. Biocombustíveis: desenvolvimento e inserção internacional. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 6, n. 1, 77-100, 2016.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.
- BARBOSA, G. D. **Parcerias estratégicas entre propriedades rurais para a geração de bioenergia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3074/1/PG_PPGEPM_Barbosa%2C%20Gabriela%20Diedrichs_2018.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**: Recife, 2012. p. 107-137.
- BIDDINGER, E. J. *et al.* Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 2, p. 330-333, 1998. DOI: 10.21273/JASHS.123.2.330.
- BILGILI, F. *et al.* Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, n. 1, p. 830-845, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.109.
- BISSOLI-DALVI, M. *et al.* Avaliação da Sustentabilidade da Madeira por Meio da Ferramenta ISMAS. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, 7 p., 12017. DOI: 10.1590/2179-8087.077214
- BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as leis nº 9.478, de 26 outubro de 1999, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Disponível em

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em: 07 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Ficha Agroecológica: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas 13. Preparo do Biofertilizante Supermagro**. 2016. 2p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/13-preparo-do-biofertilizante-supermagro.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2020.

BUENO, C. C. *et al.* Investigation on prospective energy power from corncob husk biomass and its biochars by kinetic parameters and isoconversional models. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, n. 11, p. 2202-2210, 2017. DOI: 10.21577/0103-5053.20170071.

BÜHRING, G. M. B.; SILVEIRA, V. C. P. Biogas originated from residual biomass in ecosystem services. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 4, p. 1-13, 2018. DOI: 10.4136/ambi-agua.2214.

CALORI, A. H. *et al.* Condutividade elétrica da solução nutritiva e densidade de plantas na produção de batata-semente em aeroponia em condições tropicais de cultivo (inverno/primavera). **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 1, p. 23-32, 2017. DOI: 10.1590/4499.022.

CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014. DOI: 10.1590/S0103-40142014000300003.

CARVALHO, J. M. A. **Produção de bioetanol de terceira geração a partir de *Euglena gracilis***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/27079/1/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o%20Digital.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2020.

CARVALHO, N. L. *et al.* Biocombustíveis: uma opção para o desenvolvimento sustentável. **Gestão e Desenvolvimento em Contexto**, v. 2, n. 2, p. 32-50, 2014.

CASTRO, M. T.; SOUZA, M. G.; CASTRO, A. O. Renewable energy: wind energy, its effects and environmental gains. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v. 5, n. 19, p. 103-108, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20190056>.

CHENG, J. **Biomass to renewable energy processes**, Boca Raton: CRC Press. Ed. 2, 2017. 449 p.

CHENG, S. S.; CHU, E. Y. Técnica de enraizamento de ponteira para propagação e cultivo do tomateiro. **Comunicado Técnico 117**, Belém: EMBRAPA, 2004. 3p.

CHRISTIE, C. B.; NICHOLS, M. A. Aeroponics - A Production System and Research Tool. **Acta Horticulture**, v. 648, n. 1, p. 185-190, 2004. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.648.22.

COMETTI, N. N. *et al.* Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 262-267, 2008. DOI: 10.1590/S0102-05362008000200027.

CREUTZIG, F. *et al.* Bionergy and climate change mitigation: an assessment. **Global Change Biology Bionergy**, v. 7, n. 1, p. 916-944, 2015. DOI: 10.1111/gcbb.12205.

CUZZUOL, G. R. F. *et al.* Soluções nutritivas para cultivo e produção de frutanos em plantas de *Vernonia herbacea*. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 9, p. 911-917, set., 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000900011.

DELICADO, A.; JUNQUEIRA, L. A investigação em energias renováveis. **Ação Pública e Problemas Sociais em Cidades Intermediárias**, Lisboa: FCSH-UNL, 2013. 223p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **A cultura da batata-doce**, Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 94 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Batata-doce (*Ipomoea batatas*) – Material de Propagação**. Sistemas de Produção, v. 6, n. 1, 2008. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/material_propagacao.html. Acesso em: 29 jun. 2020.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética) - **Balço Energético Nacional (BEN) 2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>.

EVANGELISTA, R. L.C.A. **Caracterização morfológica e rendimento de cultivares de batata-doce**. Relatório de Programa Voluntário de Iniciação Científica (PROVIC), 2018. 12p.

EVARISTO, A. B. *et al.* Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 571-577, 2016. DOI: 10.5902/1980509822757.

FACTOR, T. L. **Produção de minitubérculos de batata semente em sistemas hidropônicos NFT, DFT e Aeroponia**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105193/factor_tl_dr_jabo.pdf;jsessionid=4F3198578C61CD390725D05B554EA2AB?sequence=1. Acesso em: 6 ago. 2020.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Crops**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 02 fev. 2020.

FERREIRA, M. A. M. *et al.* Physiological characterization of plant growth in sweet potato. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 112-18, 2019. DOI: 10.1590/S0102-053620190118.

FIRON N., *et al.* Botany and Physiology: Storage Root Formation and Development. In: **The Sweetpotato**, p. 13-26, 2009. DOI: doi.org/10.1007/978-1-4020-9475-0_3.

FONSECA, M. C. M. *et al.* Tamponamento do pH da solução nutritiva na hidroponia de plantas ornamentais. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 11, n. 2, p. 100-108, 2005. DOI: 10.14295/rbho.v11i2.49.

FRANCO, C. F.; PRADO, R. M. Uso de soluções nutritivas no desenvolvimento e no estado nutricional de mudas de goiabeira: macronutrientes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i2.1042.

FURLANI, P. R. *et al.* **Cultivo hidropônico de plantas: parte 2 - solução nutritiva**, 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap2/Index.htm. Acesso em: 03 fev. 2020.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 15-28, 2016. DOI: 10.21577/1984-6835.20170004.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i72p6-15.

GONDIM, A. R. O. *et al.* Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n.6, p. 894-904, 2010.

GUO, M.; SONG, W.; BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status and perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, n. 1, p. 712-725, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.013.

HELBER JUNIOR C *et al.* Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 1142-1147, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400016>.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.

HUETT, D.O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, n.1, p.251-267, 1994.

HUAMAN, Z. Systematic Botany and Morphology of the Sweetpotato Plant. **Technical Information Bulletin 25**. Lima: International Potato Center, 1992. 22 pp.

IAPAR. **Atlas Climático do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 15 fev. 2020.

IBGE. **Área plantada ou destinada à colheita (Hectares)**, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 07 jun. 2019.

IPEA (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016. 324 p.

LACERDA, F. H. D. *et al.* Substrato e concentração de nutrientes na solução nutritiva na produção de couve manteiga. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 51-58, 2012.

LIMA, T. C. **Produção e qualidade de plantas medicinais em cultivo hidropônico**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2019. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2019/07/Tha%C3%ADsa-UENFcorre%C3%A7%C3%B5es-aceitas-final-final-merged-1.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2020.

LIRA, M. A. *et al.* Hidroponia. **Cadernos do Semiárido**, Recife: EDUFRPE, v. 6, n. 6, 2017. 87 p.

LOPES, M. L. *et al.* Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, supl. 1, p. 64-76, 2016. DOI: 10.1016/j.bjm.2016.10.003.

MACZYNSKA, J. *et al.* Production and use of biofuels for transport in poland and Brazil - The case of bioethanol. **Fuel**, v. 241, n.1, p. 989-996, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.12.116.

MAGRO, F. G. *et al.* Produção de bioetanol utilizando microalgas: uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 159-174, 2016. DOI: 10.5433/1679-0375.2016v37n1p159.

MAIA, J. T. L. *et al.* Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 723-731, 2014. DOI: 10.1590/0034-737X201461050016.

MAINO, S. C. *et al.* Batata-doce (*Ipomoea batatas*) dentro do contexto de culturas energéticas, uma revisão. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, p. 629-638, 2019. DOI: 10.5380/rber.v8i4.65754.

MAKICHIMA, N.; CARRIJO, O. A. Princípios da hidroponia. **Circular Técnica 22**. EMBRAPA, 2000. 28 p.

MAO, G. *et al.* Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 635, n. 1, p. 1081-1090, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.173.

MAROYA, N.; BALOGUN, M.; ASIEDU, R. Seed yam production in an aeroponics system: a novel technology. YIIFSWA Working Paper Series No 2 (Revised). **Yam Improvement for Income and Food Security in West Africa**, Nigeria: IITA, 2014. 20 p.

MEYERS, S. L. *et al.* Sweet Potato Storage Root Initiation. **Mississippi State University Extension**. Disponível em: <http://extension.msstate.edu/publications/sweetpotato-storage-root-initiation>. Acesso em: 02 fev. 2020.

MIURA, A. K. *et al.* Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

Engenharia Agrícola., Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 607-620, 2011. DOI: 10.1590/S0100-69162011000300020.

MORAIS, P. P. *et al.* Etanol de segunda geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 7, n. 1, p. 45-57, 2017.

MORAIS, W. G. *et al.* Electrochemical Systems for Renewable Energy Conversion from Salinity and Proton Gradients. **Journal of Brazilian Chemical Society**, vol. 29, n. 5, p. 934-947, 2018. DOI: 10.21577/0103-5053.20180008.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no mecanismo de desenvolvimento limpo por meio de projetos de energia limpa. **Contexto Internacional**, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008. DOI: 10.1590/S0102-85292008000100001.

MORTLEY, D. G. *et al.* Biocompatibility of Sweetpotato and Peanut in a Hydroponic System. **HortScience**, v. 33, n. 7, p. 1147-1149, 1998.

MURAKAMI, T.; YONEYAMA, T. Comparison of root length of two rice (*Oriza sativa* L.) varieties by using an image analyzer. **Plant and Soil**, v. 105, n. 2, p. 287-289, 1988. DOI: 10.1007/BF02376794.

MWANJA, Y. P.; GOLER, E. E.; GUGU, F. M. Assessment of Root and Vine Yields of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Landraces as Influenced by Plant Population Density in Jos-Plateau, Nigeria. **International Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 88-92, 2017. DOI: 10.3923/ijar.2017.88.92.

NOBOA, C. S. *et al.* Produção hidropônica e análise sensorial de couve-de-folhas na forma de maço de plantas jovens. **Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/2359-6643.09121>.

OLIVEIRA, L. M.; VALDÉS SERRA, J. C.; MAGALHÃES, K. B.. Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol. **Geoambiente On-line**, n. 19, p. 1-23, 2012. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i19.26058.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando o nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável - 7 Energia Limpa e Acessível**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso em: 17 abr. 2018.

ONTENG- DARKO, P. *et al.* Growing Seed Yams in the Air: the Agronomic Performance of Two Aeroponics Systems Developed in Ghana. **Sustainable Agriculture Research**, v. 6, n. 3, p. 106-116, 2017. DOI:10.5539/sar.v6n3p106.

OWUSU, P. A.; ASUMADU-SARKODIE, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, 14 p., 2016. DOI: 10.1080/23311916.2016.11.67990.

PACIENTE, F. J., *et al.* Inovações tecnológicas para as etapas industriais de obtenção de etanol de primeira e segunda gerações a partir do sorgo sacarino: um estudo metodológico de prospecção. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO EM INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA, 7, 2018, Fortaleza. **Atlas CIAIQ2018**. Aveiro: LUDOMEDIA, 2018. Disponível em:

<https://www.proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2018/article/view/1945/1894>. Acesso em: 17 abr. 2019.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente & Água**, v.12, n. 6, p. 1082-1100, 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.2064.

RAELE, R. *et al.* Scenarios for the second generation ethanol in Brazil. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 87, n. 1, p. 205-223, 2014. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.12.010.

RAMBO, A. G.; MICHAELSEN, A. M.; SCHNEIDER, S. Produção de agroenergia pela agricultura familiar: a contribuição dos “pequenos” empreendimentos aos “grandes” problemas atuais. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 34, n. 125, p. 163-189, 2013.

RAVI, V. *et al.* Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v.35, n. 1, p.1-27, 2009.

RIZZOLO, J. A. **Estudos para o aproveitamento biotecnológico de variedade de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente**. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47464/R%20-%20T%20-%20JOANA%20ANTUNEZ%20RIZZOLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 ago. 2020.

RODRIGUES, F. W. *et al.* Energia solar fotovoltaica: desenvolvimento e aplicações. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. 165p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/German_Eduardo_Devora-Isiordia/publication/335629550_ANALISE_DE_MERCADO_DE_TECNOLOGIA_SOLAR_FOTOTERMICA_E_PROPOSTA_DE_MODELO_DE_NEGOCIO/links/5d813e75458515fca171111e/ANALISE-DE-MERCADO-DE-TECNOLOGIA-SOLAR-FOTOTERMICA-E-PROPOSTA-DE-MODELO-DE-NEGOCIO.pdf. Acesso em: 08/02/2020.

RODRIGUES, O. C. S., ABREU, Y. V. Características da posse e uso de terras relacionadas às culturas agrícolas destinadas à produção de agroenergia no Brasil (Biodiesel e Etanol). **Revista Desafios**. v. 03, n. Especial, p. 12-21, 2016 (Suplemento). DOI: 10.20873/uft.2359-3652.2016v3nespp12.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, São Paulo, n. 21, v. 59, p. 21-38, 2007. DOI: 10.1590/S0103-40142007000100004.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). **Análise da qualidade da água**. Disponível em: <http://site.saneapar.com.br/agua/analise-da-qualidade-da-agua>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SANTOS, J. A.; FERREIRA FILHO, J.B.S. Substituição de combustíveis fósseis por etanol e biodiesel no Brasil e seus impactos econômicos: uma avaliação do Plano Nacional de Energia 2030. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 47, n. 3, p. 185-224, 2017.

SANTOS, M. J. *et al.* Produção e composição bromatológica de milho e sorgo cultivados hidroponicamente sem substrato. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônomicas**, Recife, v. 11/12, p. 226-241, 2015.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Produção e pós-colheita de flores de girassóis sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 420-432, 2016. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p420-432/2016.

SAUTER; E. AZEVEDO, F. S.; KONZEN, P. H. A. **Computação científica em linguagem C: Um livro colaborativo**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/reatmat/ComputacaoCientifica/livro/livro.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2020.

SAVAZAKI, E. T. *et al.* **Hidroponia e cultivo em substrato**. Campinas: CATI, 2018. 102p.

SENANAYAKE, S. A. *et al.* Comparative analysis of nutrition quality of five different cultivars of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L) Lam) in Sri Lanka. **Food Science & Nutrition**, v. 1, n. 4, p. 284-291, 2013. DOI: 10.1002/fsn3.38.

SHARMA, U. *et al.* Aeroponics for propagation of horticultural plants: an approach for vertical farming. **Horticulture International Journal**, v. 2, n. 6, p. 443-444, 2018. DOI: 10.15406/hij.2018.02.00093.

SILVA, A. T., *et al.* Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. **Revista de Administração**, v. 48, n. 4, p. 727-738, 2013. DOI: 10.5700/rausp1117.

SILVA, G. F. *et al.* Aspectos morfoanatômicos de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) sob omissão de nutrientes. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 13-20, 2011.

SILVA, R. L. *et al.* Residual essential in the micro-region of Dourados (MS): Assessment and availability for energy in agriculture thermal conversion. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 3, p. 433-440, 2017. DOI: 10.1590/1809-4430.

SILVA FILHO, J. B. **Desenvolvimento e otimização de sistema aeropônico para a produção de minitubérculos de batata-semente**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6906/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 ago. 2020.

SILVA FILHO, J. B. *et al.* Evaluation of BUFV Aeroponic System to Produce Basic Potato Seed Minitubers. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 443-450, 2018. DOI: 10.1007/s12230-018-9644-2.

SILVA FILHO, J. B. *et al.* Yield of potato minitubers under aeroponics, optimized for nozzle type and spray direction. **HortScience**, v. 55, n. 1, p. 14-22, 2020. DOI: 10.21273/HORTSCI13971-19.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: bioenergia na agricultura familiar. 2007, 19p. Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_1/PAL11.pdf. Acesso em: 15 fev. 2020.

SILVEIRA, M. A. *et al.* A cultura da batata – doce como fonte de matéria prima para produção de etanol. **Boletim Técnico – UFT**, Palmas, 2015, 45 p.. Disponível em: <http://www.sudam.gov.br/conteudo/destaques/arquivos/Etanol/BOLETIM-TECNICO-UFT.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.

SIMIONI, F. J. *et al.* Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 731-742, 2017. DOI: 10.5902/1980509827758.

SOUZA, C. B. S. *et al.* Produção de minitubérculos de batata semente básica em hidroponia em função de doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 714-723, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000400007.

STRANTZALI, E.; ARAVOSSIS, K. Decision making in renewable energy investments: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 885-898, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.11.021.

SZMRECSÁNYI, T., MOREIRA, E. P. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a segunda guerra mundial. **Estudos avançados**, v. 5, n. 11, p. 57-79, 1991. DOI: 10.1590/S0103-40141991000100006.

SZWARC, A.; NIGRO, F. **Etanol e a bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc, 2010. 315p.

TABASSUM, R. *et al.* Morpho- Physiological Evaluation of Sweet Potato (*Ipomea batatas* L.) Genotypes in Acid Soil. **Asian Journal Crop Science**, v. 7, n. 4, p. 267-276, 2015. DOI: 10.3923/ajcs.2015.267.276.

TOKLU, E. Biomass energy potencial and utilization in Turkey. **Renewable Energy**, v. 107, n. 1, p. 235-244, 2017. DOI: 10.1016/j.rnene.2017.02.008.

VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S. Avaliação do potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.123314.

VIÉGAS, I. J. M. *et al.* Composição mineral e sintomas visuais de deficiência de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, p. 43-50, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000100006>.

VILLORDON, A. Revealing the Hidden Half: Development of a Low-cost Aeroponics Growth System As a Tool for Sweet Potato Root Research. **LSU College of Agriculture**, 2016. Disponível em: <https://www.lsuagcenter.com/profiles/lbenedict/articles/page1469558759243>. Acesso em: 8 fev. 2020.

VILLORDON, A. **[Help with research]** Destinatário: mari12.andressa@gmail.com. Ponta Grossa, 2 set. 2019. *E-mail*.

WO, M. W. **Sustainable Agriculture and Off-Grid Renewable Energy**. In: TRADE AND ENVIRONMENT 2013, UNITED NATIONS PUBLICATIONS, p. 72-76, 2013.

WOOTTON-BEARD, P. Producing fodder crops using hydroponics. **Farming Connect**, 2019.
10 p.