

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TIAGO PACHECO MENDES

FOTOSSÍNTESE E PRODUÇÃO DA BATATA YACON CULTIVADA EM
AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES
HÍDRICAS

ALEGRE, ES

2023

TIAGO PACHECO MENDES

**FOTOSSÍNTESE E PRODUÇÃO DA BATATA YACON CULTIVADA EM
AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES
HÍDRICAS**

Tese apresentada a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

ALEGRE, ES

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M538f Mendes, Tiago Pacheco, 1993-
Fotossíntese e produção da batata yacon cultivada em ambiente protegido sob diferentes disponibilidades hídricas / Tiago Pacheco Mendes. - 2023.
55 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz de Oliveira.
Coorientador: Edvaldo Fialho dos Reis.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Irrigação. 2. Déficit hídrico. 3. Manejo de irrigação. 4. Eficiência no uso da água. 5. Fotossíntese. 6. *Smallanthus sonchifolius*. I. Oliveira, Fábio Luiz de. II. Reis, Edvaldo Fialho dos. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63


TIAGO PACHECO MENDES

**FOTOSSÍNTESE E PRODUÇÃO DA BATATA YACON CULTIVADA EM
AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES
HÍDRICAS**


Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Doctor Scientiae em Agronomia, na área de concentração em Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Aprovada em 17 de março de 2023


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **FABIO LUIZ DE OLIVEIRA**
Data: 16/05/2023 15:37:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Fábio Luiz de Oliveira (Orientador)
UFES

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL FONSECA DE CARVALHO**
Data: 22/05/2023 15:34:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Daniel Fonseca de Carvalho
UFRRJ

Documento assinado digitalmente
 **GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA**
Data: 18/05/2023 16:51:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
UFES

Documento assinado digitalmente
 **ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVAL**
Data: 22/05/2023 05:37:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho
IFES

Documento assinado digitalmente
 **PAULO CEZAR CAVATTE**
Data: 19/05/2023 12:23:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Cezar Cavatte
UFES

BIOGRAFIA

TIAGO PACHECO MENDES, filho de João Batista Mendes de Oliveira e Maria da Penha Pacheco Mendes, nasceu em 04 de junho de 1993, em Alegre, estado do Espírito Santo. Coursou da primeira à quarta série no Centro de Ensino Continuado Jaci Kobbi Rodrigues (CIEC) na cidade de Celina-ES. Coursou da quinta a oitava série e o ensino médio na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Sirena Rezende Fonseca na mesma cidade. Em agosto de 2011, ingressou no curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) na cidade de Alegre-ES. Durante a graduação, participou como bolsista do CNPq de projetos de iniciação científica (PIBIC). Em fevereiro de 2017, recebeu o título de Bacharel em Agronomia, e ingressou em março do mesmo ano no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFES, onde iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal, submetendo-se à defesa em 25 de fevereiro de 2019. Atualmente é estudante de doutorado da Universidade Federal do Espírito Santo, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me guiado e protegido todos os dias por essas estradas, por me conceder saúde, me dando força, coragem e discernimento para encarar todos os desafios que apareceram. À minha mãe e ao meu pai, por todo apoio e confiança. À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso, a (FAPES), pela concessão da bolsa de estudos pelo auxílio financeiro e apoio à pesquisa. Agradeço ao professor Dr. Fábio Luiz de Oliveira, pela orientação, conselhos e sugestões, pelo apoio e confiança concedida. Ao professor Dr. Edvaldo Fialho dos Reis pela coorientação, pelo apoio e sugestões. A todo corpo de docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, que contribuiu de forma significativa para minha formação durante o Doutorado. Agradeço a valorosa contribuição dos professores Fábio Luiz de Oliveira, Paulo Cezar Cavatte, Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho, Giovanni de Oliveira Garcia, Diego Mathias Natal da Silva e Marcelo Antonio Tomaz que prontamente aceitaram o convite para participar desta defesa de tese de doutorado. Aos amigos e aos demais colegas de pós-graduação, pelo convívio, ajuda e troca de experiências.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	8
GENERAL ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11
ARTIGO 1: MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA BATATA YACON CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS	12
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ARTIGO 2: ASPECTOS AGRONÔMICOS DA YACON CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS	31
INTRODUÇÃO	33
MATERIAL E MÉTODOS	34
RESULTADOS E DISCUSÃO.....	39
CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

RESUMO GERAL

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*) vêm passando por um processo de valorização por parte do mercado consumidor, pois é considerada um alimento funcional, em virtude do seu alto valor nutricional e, principalmente, seus conteúdos de frutooligossacarídeos (FOS), compostos que oferecem benefícios à saúde humana. No entanto, o sucesso do cultivo agrícola de uma espécie inovadora passará pela geração de informações que irão sustentar o planejamento das técnicas para seu manejo, dentre elas o conhecimento das necessidades hídricas da espécie. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi conhecer o crescimento, desenvolvimento e produção da yacon, a partir de diferentes níveis de disponibilidade de água no solo. Para isso, foi realizado um estudo composto por dois experimentos em dois ciclos de cultivo, sendo que no primeiro experimento se trabalhou com uma maior amplitude de disponibilidade de água no solo, buscando uma compreensão dos efeitos das mudanças mais expressivas da disponibilidade hídrica sobre o desenvolvimento da yacon. No segundo experimento, se trabalhou com menor amplitude de disponibilidade de água no solo, buscando uma compreensão mais refinada dos efeitos da disponibilidade hídrica para a cultura. Ambos os experimentos foram conduzidos em vasos de 25 litros preenchidos com material de solo coletado a uma profundidade de 0,0 a 30,0 cm e alocados em casa de vegetação com efeito “guarda-chuva”. Foram realizadas avaliações das trocas gasosas para estimativa das variáveis fotossintéticas, também foram mensurados os índices Dualex de clorofila, balanço de nitrogênio, antocianina e flavonoides. Avaliou-se ainda altura da planta, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, caules, rizóforos, raízes e raízes tuberosas, produção de raízes comerciais total e por classes, consumo de água e eficiência no uso da água. A yacon produziu 16,05% a menos a cada 10 kPa de aumento no nível de tensão de água no solo. A taxa fotossintética máxima ($29,276 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na maior disponibilidade hídrica testada (20 kPa). A maior demanda hídrica apresentada foi na idade cronológica dos 160 dias após o plantio, independente da disponibilidade hídrica. A maior eficiência no uso da água foi observada com o nível de tensão de 30 kPa, com um consumo estimado de 841,4 mm de água durante o ciclo.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*; alimento funcional; déficit hídrico; manejo de irrigação; eficiência no uso da água.

GENERAL ABSTRACT

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) has been undergoing a process of appreciation by the consumer market, as it is considered a functional food, due to its high nutritional value and, mainly, its contents of fructooligosaccharides (FOS), compounds that offer benefits to the human health. However, the success of the agricultural cultivation of an innovative species will depend on the generation of information that will support the planning of techniques for its management, among them the knowledge of the water needs of the species. In this sense, the objective of this study was to know the growth, development and production of yacon, from different levels of water availability in the soil. For this, a study was carried out consisting of two experiments in two crop cycles, in which the first experiment worked with a greater range of water availability in the soil, seeking to understand the effects of the most significant changes in water availability on development from yacon. In the second experiment, we worked with a smaller range of water availability in the soil, seeking a more refined understanding of the effects of water availability on the crop. Both experiments were carried out in 25-liter pots filled with soil material collected at a depth of 0.0 to 30.0 cm and placed in a greenhouse with an “umbrella” effect. Assessments of gas exchange were performed to estimate the photosynthetic variables, the Dualex indices of chlorophyll, nitrogen balance, anthocyanin and flavonoids were also measured. Plant height, number of leaves, leaf area, dry mass of leaves, stems, rhizophores, roots and tuberous roots, total commercial root production and by classes, water consumption and water use efficiency were also evaluated. Yacon produced 16.05% less for every 10 kPa increase in soil water tension. The maximum photosynthetic rate ($29.276 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) was observed in the highest tested water availability (20 kPa). The highest water demand presented was at the chronological age of 160 days after planting, regardless of water availability. The highest efficiency in water use was observed with the tension level of 30 kPa, with an estimated consumption of 841.4 mm of water during the cycle.

Keywords: Water deficit; *Smallanthus sonchifolius*; irrigation management; water use efficiency.

INTRODUÇÃO GERAL

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foi introduzida no Brasil na década de 90. É uma planta que apresenta raízes tuberosas com características atrativas ao consumo natural, como poupa crocante e sabor adocicado. Considerada uma batata, armazena energia em suas raízes tuberosas na forma de carboidratos de reserva, denominados fruto oligossacarídeos (FOS).

Pela presença dos fruto oligossacarídeos em suas raízes, a yacon é considerada um alimento funcional, recomendado a portadores de diabetes (SOUZA et al., 2022). Outros benefícios da yacon para a saúde têm sido comprovados em diversos estudos, como seu efeito prebiótico, protetor contra o câncer de cólon, imunoestimulação, papel importante na regularização intestinal, redução de lipídios séricos e na modulação da insulinemia de jejum (MARQUES et al., 2022).

A comprovação da sua importância para a saúde humana tem aumentado a demanda por suas raízes, resultando em novas áreas de cultivos, tornando a yacon um produto explorado em várias regiões, com diferentes condições climáticas e de solo. Atualmente já se encontra cultivos comerciais na Europa, América do Norte, América do Sul e na Ásia (GURUNG et al., 2018).

Com a ampliação das áreas de cultivo, é crescente a demanda por informações técnicas sobre o seu cultivo, dentre elas a geração de conhecimento sobre suas necessidades hídrica, para a qual, existe uma escassez por informações. Segundo Seminário et al. (2003), a yacon demandaria entre 650 e 1000 mm de precipitação anual na região andina, mas não há registro científicos que comprovem essa demanda.

Como para a maioria dos cultivos agrícolas, a irrigação para yacon pode ser um fator determinante na produção, favorecendo o aumento da produtividade e a qualidade final do produto agrícola oferecido. Considerando a importância fundamental que a água tem sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal, conhecer a real demanda hídrica dessa planta é primordial para o planejamento e sucesso dos seus sistemas de produção. O manejo da irrigação deve levar em conta a relação entre a cultura, clima e solo, de modo a otimizar a quantidade de água aplicada (MORILLO-VELARDE, 2010).

Existem vários métodos para auxiliar o manejo da irrigação, e dentre eles destaca-se o manejo via monitoramento da tensão da água no solo estimando o conteúdo de água disponível em função de um determinado potencial matricial (GONÇALVES et al., 2018; RIBEIRO, 2019). Com esse método determina-se que o momento ideal para irrigar será

sempre quando a umidade do solo atingir a tensão crítica preestabelecida, de modo que não afete o desempenho da cultura (VILAS BOAS et al., 2011), sabendo que o teor de água do solo deve ser mantido entre a tensão referente à capacidade campo e à tensão crítica de controle da irrigação.

Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento, desenvolvimento e produção da yacon, a partir de diferentes níveis de disponibilidade de hídrica e determinar o quanto diminuição da água disponível compromete o desenvolvimento da yacon.

REFEERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GONÇALVES, M. S; RIBEIRO, W. R; PINHEIRO, A. A; MARTINS, C. A; CÓSER, A.; REIS, E. F; GARCIA, G. O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. *Journal of Experimental Agriculture International*, v.23, n.4, p.1-12, 2018.

GURUNG, S., MAHATO, S. K., THAPA, B., BINOY C. An introduction to ground apple (*Smallanthus sonchifolius*): A review. **International Journal of Genetics**, ISSN, p. 0975-2862, 2018.

MARQUES, C., TOAZZA, C. E. B., SARI, R., MITTERER-DALTOÉ, M. L., DO AMARAL, W., MASSON, M. L. Long-term storage of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice: Phytochemical profile, in vitro prebiotic potential and discriminant bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 41, p. 100970, 2022.

MORILLO-VELARDE R. Water management in sugar beet. **Sugar Tech**, v. 12, p. 299-304, 2010.

RIBEIRO, W. R. **Manejo da umidade do solo por Reflectometria no Domínio do Tempo na cultura do cafeeiro conilon clonal**. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, UFES, Alegre, ES, 2019.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), p. 60, 2003.

SOUZA, D. H. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) peel as a promising peroxidase source for the treatment of phenolic wastewater. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 39, p. 102254, 2022.

ARTIGO 1: MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA BATATA YACON CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

RESUMO

Nos últimos anos, diversos estudos comprovam os efeitos benéficos do consumo da yacon para a saúde humana. Com isso percebe-se um aumento na demanda por suas raízes, resultando em novas áreas de cultivos, suscitando o interesse de conhecimento sobre o seu comportamento diante dos diferentes regimes hídricos enfrentados. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é conhecer as respostas fisiológicas da yacon, submetida a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Foram realizados dois experimentos com ciclos de cultivo em anos diferentes, sendo o primeiro trabalhando com maior amplitude de disponibilidade de água no solo, buscando uma faixa na qual a planta se desenvolvesse melhor. No segundo experimento, com base nos resultados do primeiro, foi realizado uma maior aproximação da real demanda da yacon, testando-se uma menor amplitude de disponibilidade de água, dentro da faixa de melhor resultado obtida no experimento anterior. Ambos os experimentos foram conduzidos em vasos de 25 litros preenchidos com material de solo coletado a uma profundidade de 0,0 a 30,0 cm e alocados em casa de vegetação com efeito “guarda-chuva”. Os níveis de disponibilidade hídrica testados no primeiro experimento foram 30, 60, 100, 200 e 300 kPa, já no segundo experimento as plantas de yacon foram submetidas a 20, 30, 45, 60 e 75 kPa. Foram realizadas avaliações das trocas gasosas para estimativa das variáveis fotossintéticas, também foram mensurados os índices Dualex de clorofila, balanço de nitrogênio, antocianina e flavonoides. A taxa fotossintética máxima ($29,276 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na maior disponibilidade hídrica testada (20 kPa). Os índices de clorofila foram maiores nas plantas que cresceram sob condições de maiores disponibilidade hídrica. Em condições de elevada restrição hídrica as plantas de yacon apresentaram maiores índices de flavonóides. De modo geral, o melhor desempenho foi notado quando a planta foi submetida aos maiores níveis de disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*; Déficit hídrico; manejo de irrigação; fotossíntese.

**ARTICLE 1: PHYSIOLOGICAL CHANGES IN YACON POTATO
CULTIVATED IN A PROTECTED ENVIRONMENT UNDER DIFFERENT
WATER AVAILABILITIES**

ABSTRACT

In recent years, several studies have proven the beneficial effects of yacon consumption on human health. With this, an increase in the demand for its roots can be seen, resulting in new areas of cultivation, raising the interest in knowledge about its behavior in the face of the different water regimes faced. In this sense, the objective of this work is to know the physiological responses of yacon, submitted to different levels of water availability. Two experiments were carried out with crop cycles in different years, the first one working with a greater range of water availability in the soil, seeking a range in which the plant would develop better. In the second experiment, based on the results of the first, a closer approximation of the real yacon demand was carried out, testing a smaller range of water availability, within the best result range obtained in the previous experiment. Both experiments were carried out in 25-liter pots filled with soil material collected at a depth of 0.0 to 30.0 cm and placed in a greenhouse with an “umbrella” effect. The water availability levels tested in the first experiment were 30, 60, 100, 200 and 300 kPa, while in the second experiment the yacon plants were subjected to 20, 30, 45, 60 and 75 kPa. Assessments of gas exchange were performed to estimate the photosynthetic variables, the Dualex indices of chlorophyll, nitrogen balance, anthocyanin and flavonoids were also measured. The maximum photosynthetic rate ($29.276 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) was observed in the highest tested water availability (20 kPa). Chlorophyll indices were higher in plants that grew under conditions of greater water availability. Under conditions of high-water restriction, yacon plants showed higher levels of flavonoids. In general, the best performance was noted when the plant was subjected to the highest levels of water availability.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*; Water deficit; irrigation management; photosynthesis.

INTRODUÇÃO

Globalmente, o consumo de alimentos vegetais que oferecem benefícios fisiológicos e bioquímicos à saúde humana está aumentando. produtos derivados das raízes tuberosas e folhas de yacon, como xarope, pó e chá de ervas, ganharam força nos mercados, impulsionados por comprovações científicas sobre seus benefícios. A yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é considerada como um alimento funcional por conter componentes biologicamente ativos que podem fornecer benefícios fisiológicos para reduzir o risco de doenças crônicas. A yacon possui ainda efeito prebiótico, efeito protetor contra o câncer de cólon, imunestimulação, papel importante na regularização intestinal, redução de lipídios séricos e na modulação da insulinemia de jejum (MARQUES et al., 2021).

Todas essas possibilidades têm impulsionado o consumo de yacon, o que gera demanda para o seu cultivo e, por consequência, demanda por conhecimento em torno do seu manejo agrícola. Uma das informações ainda pouca conhecida, é sobre as demandas hídricas para o cultivo da yacon. Sabe-se apenas que, segundo Seminário et al. (2003), a yacon demandaria entre 650 e 1000 mm de precipitação anual na região andina.

Considerando que essa demanda hídrica seria relativamente alta, uma situação de déficit de água poderia trazer consequências adversas significativas nos processos fisiológicos das plantas de yacon, sendo necessário estudar os parâmetros fisiológicos da planta em relação a disponibilidade de água no solo, pensando no sucesso do seu cultivo agrícola.

Para o pleno desenvolvimentos das plantas, o teor de água do solo deve ser mantido entre a tensão referente à capacidade campo e à tensão crítica da planta, que auxilia no manejo da irrigação. Para auxiliar no monitoramento e no manejo correto da irrigação existem vários métodos já utilizados nas pesquisas científicas, dentre eles, destaca-se o manejo via monitoramento da tensão da água no solo estimando o conteúdo de água disponível em função de um determinado potencial matricial, conforme estudos recentes desenvolvidos por Gonçalves et al. (2018) e Ribeiro (2019).

Com o monitoramento dos níveis de tensão de água no solo, é possível determinar o momento ideal para irrigar com base em uma disponibilidade hídrica preestabelecida na tensão crítica desse solo, de modo que não afete o desempenho da cultura (VILAS BOAS et al., 2011).

Diante disso, realizou-se esse estudo com o objetivo de estudar os parâmetros fisiológicos da yacon a partir de diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e preparo da área experimental

O trabalho foi conduzido na Fazenda Garganta, distrito de Celina, no município de Alegre, no sul do Espírito Santo, que se encontra a uma altitude de 680 m, latitude de 20° 47' 01" Sul e longitude de 41° 36' 56" Oeste. O clima da região Sul do Espírito Santo, segundo classificação de Köeppen, é do tipo "Aw", com duas estações bem definidas durante o ano, quente e chuvosa entre os meses de outubro a março, fria e seca nos meses de abril a setembro, com temperatura média anual de 23 °C, e precipitação anual em torno de 1.200 mm (PEZZOPANE et al., 2004).

Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro para avaliar o comportamento da yacon submetidas a tensões de água no solo com maior amplitude de tensão, buscando determinar uma faixa de melhor desenvolvimento das plantas. No segundo ano foi testada uma menor amplitude de tensões, baseado nos resultados do primeiro experimento. Os períodos experimentais foram de abril a outubro dos anos de 2020 e 2021.

Ambos os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido, em casa de vegetação com efeito "guarda-chuva" (de modo que as chuvas não influenciassem nos tratamentos) coberta com agrofílm de 150 micras, com laterais abertas na altura do dossel das plantas, facilitando a circulação de ar. Foram utilizados vasos de 25 litros preenchidos com material de solo coletado a uma profundidade de 0,0 a 30,0 cm, destorroado, passado em peneira de 4 mm e homogeneizado. O solo usado em ambos os experimentos foi retirado do mesmo local, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (EMBRAPA, 2014). Foi realizada a análise química e física do material indicando as seguintes características: pH 5,68 em água, 6,36 mg dm⁻³ de P, 79,00 mg dm⁻³ de K, 2,41 cmolc dm⁻³ de Ca, 0,60 cmolc dm⁻³ de Mg, 0,00 cmolc dm⁻³ de Al, 3,23 cmolc dm⁻³ de soma de bases trocáveis, 6,78 cmolc dm⁻³ de capacidade de troca catiônica efetiva e 47,65% de índice de saturação por bases, areia grossa 48 g kg⁻¹, areia fina 554 g kg⁻¹; silte 210 g kg⁻¹; argila 188 g kg⁻¹. Com base nessa análise, foi realizada aplicação de 0,78 kg para cada 1000 litros de solo de calcário dolomítico, com PRNT de 95%, para elevação da saturação de bases para 70%. Também, a partir dessa análise, foram realizadas as adubações de plantio, com 22,35 g de superfosfato simples por vaso e de cobertura com 20,47 e 17,85 g de ureia e cloreto de potássio respectivamente, parcelados em duas vezes, aos 60 e 100 DAP, valores baseados nas necessidades nutricionais da yacon, determinadas por Mendes (2019).

Foram coletadas também amostras de solos para determinar a curva de retenção da água no solo (membrana extratora de Richards) no laboratório de recursos hídricos. Em seguida, foi ajustado ao modelo proposto por Van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão (potencial matricial). A partir dessa equação e dos valores observados foi gerada a equação de retenção da água no solo para a camada de solo coletada (Tabela 1).

Tabela 1. Equação de retenção de água no solo na profundidade de 0-30 cm. Alegre-ES, 2020.

Coeficientes da equação								
θ_r	θ_s			α			n	
0.179347	0.584542			0.965413			1.517895	
Conteúdo de água para os respectivos potenciais								
ψ_m (kPa)	- 0	-6	- 10	- 30	- 60	- 100	- 800	- 1500
θ (m ³ /m ³)	0,5845	0,3417	0,2991	0,2496	0,2258	0,2238	0,1947	0,1845
ψ_m (cm H ₂ O)	- 0	-61.2	- 102	- 306	- 612	- 1020	-8160	- 15300
pF = log ₁₀ cm H ₂ O	0	1,79	2,01	2,49	2,79	3,01	3,91	4,18

Densidade do solo = 1,18 Mg/m³ Densidade de partículas = 2,84 Mg/m³

*Os parâmetros da equação foram obtidos a partir dos dados de potencial matricial em kPa

Equipamentos e sistema de irrigação

A partir da equação ajustada de Van Genuchten foram obtidos os valores da umidade volumétrica nos pontos amostrados correspondente as respectivas tensões de água no solo. Dessa forma foram definidas as umidades correspondentes à tensão utilizada para cada nível de disponibilidade hídrica. Tal umidade foi correlacionada com a leitura realizada pelo medidor de umidade do solo HIDROFARM® (medidor e sensor de umidade do solo da Falker) no primeiro experimento e pelo Field Scout modelo TM TDR300® (medidor e sensor de umidade do solo da Spectrum Technologies), no segundo experimento (Figura 1). Foi realizada a calibração dos aparelhos, a fim de ajustar a leitura do equipamento ao tipo de solo utilizado, sendo processo fundamental para minimizar erros e garantir leituras reais da umidade.

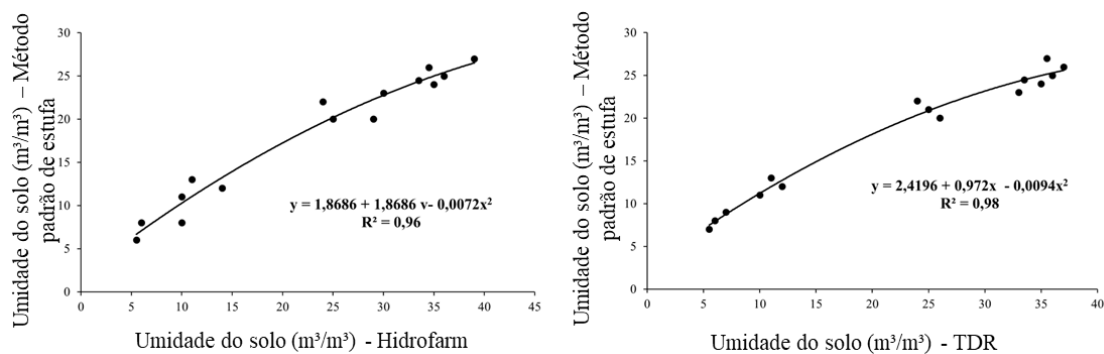


Figura 1. Curvas de calibração dos aparelhos: correlação entre umidade do solo pelo método padrão gravimétrico em função do aparelho HIDROFARM no primeiro experimento e do TDR no segundo experimento. Alegre-ES, 2020/21.

Para a calibração foi adotada a metodologia descrita por Ribeiro (2019). As leituras com o HIDROFARM e o TDR foram realizadas diariamente sempre as 11 e às 17 horas em quatro plantas de cada tratamento. Dessa forma, sempre que a média da umidade do solo nessas quatro unidades experimentais atingiu a umidade correspondente à tensão requerida pelo tratamento experimental adotado, a irrigação era realizada com volume de água necessário para que o solo retornasse à umidade correspondente a tensão de 10 kPa. Cada parcela experimental teve a quantidade necessária de água para a reposição determinada de acordo com Bernardo et al. (2007).

As plantas foram irrigadas via gotejamento, com vazão de $4,0 \text{ L h}^{-1}$, com um gotejador GA-4 autocompensante com base de rosca, em cada vaso. Foram utilizadas mangueiras de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, sendo que cada tensão testada era irrigada por uma linha de mangueira, totalizando as cinco parcelas, sendo que as diferentes lâminas eram aplicadas baseadas no tempo de funcionamento e nas vazões dos gotejadores de cada parcela. Estas foram conectadas nas linhas de derivação de (DN 32) cada saída de linha continha uma válvula manual para o controle do tempo de rega. Para alimentação do sistema foi utilizada uma caixa d'água de 1000 L posicionada a uma diferença de nível de aproximadamente 10 metros, para que o sistema operasse por gravidade (Figura 2).

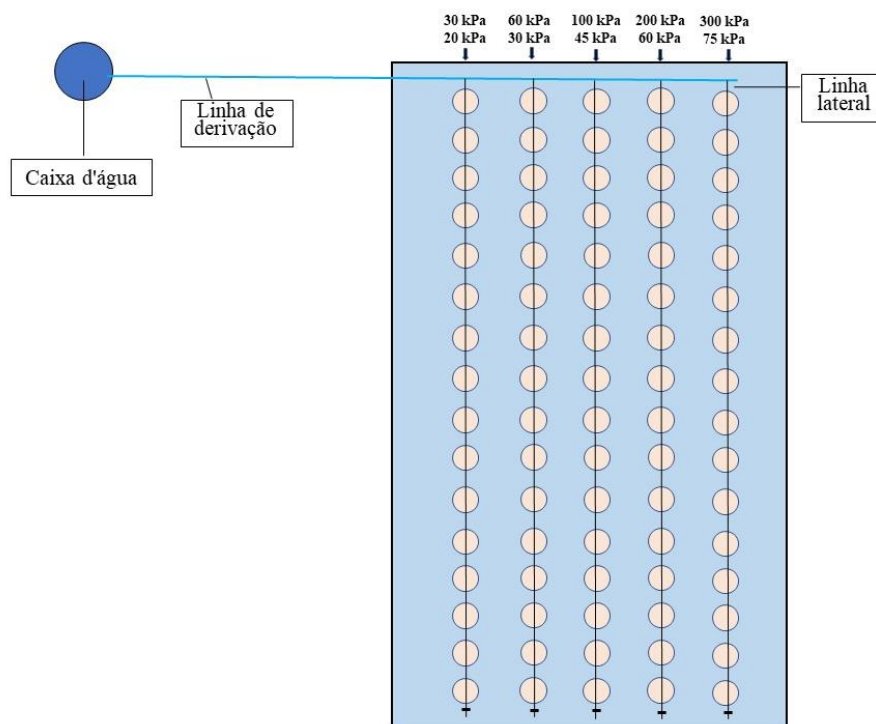


Figura 2. Croqui dos experimentos em casa de vegetação no primeiro. Alegre-ES, 2020/21.

Após a montagem do sistema, foram realizados testes para determinar a vazão média dos gotejadores e os seus respectivos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação. Em cada linha foram colocados recipientes embaixo de 5 emissores, de modo a fazer a coleta de água durante dois minutos. Após a obtenção das lâminas médias foi calculado o CUD. O sistema apresentou 95% de uniformidade, sendo classificado como excelente, de acordo com Mantovani (2001).

Monitoramento climático

Para o monitoramento das condições meteorológicas fora da casa de vegetação, foi instalada uma estação meteorológica automática (modelo E5000, Irriplus®) e para o monitoramento periódico da temperatura e umidade dentro e fora da casa de vegetação, foi usado o Termohigrômetro Digital (CEM DT-625®, Akso).

Durante o período de condução dos experimentos, foi registrada temperatura média de 19,40°C, para o primeiro ano de experimentação, e de 20,21°C para o segundo ano. Com as temperaturas aferidas, pode-se verificar que o ambiente externo registrava temperaturas de 2,7°C (primeiro experimento) e 2,5°C (segundo experimento) mais

baixas do que o ambiente dentro da casa de vegetação, no momento das avaliações (Figura 3). Dessa forma, notou-se que as temperaturas estavam dentro da faixa considerada como ótima para o desenvolvimento da yacon (entre 18 e 25 °C) segundo Seminario et al. (2003).

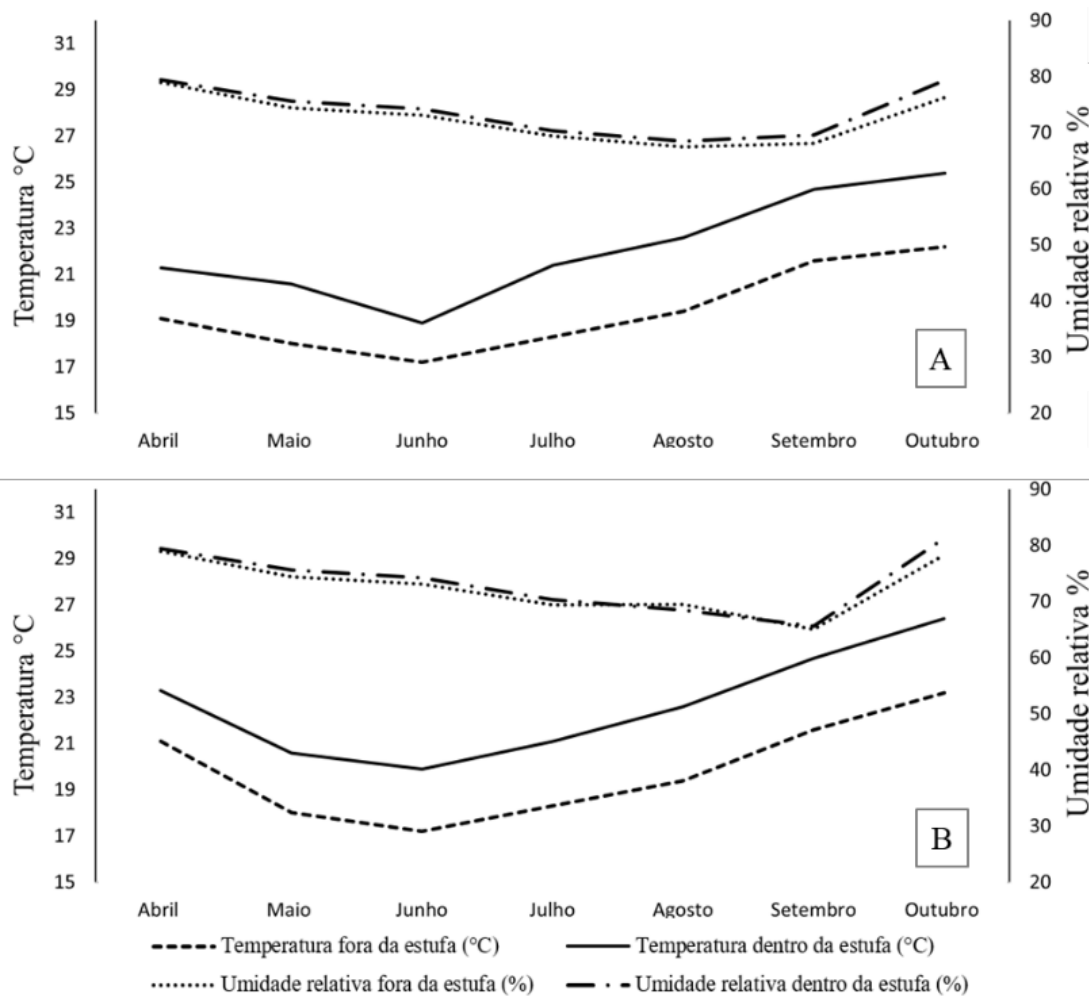


Figura 3. Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar dentro e fora da casa de vegetação no primeiro (A) e no segundo experimento (B). Alegre-ES, 2020/21.

Caracterização do material vegetal

A yacon foi propagada através de mudas obtidas por meio de porções de rizóforos com 4 a 5 gemas, com peso médio próximo a 10g, previamente desinfetados em uma solução clorada a 1% e plantados a 10 cm de profundidade.

Avaliações realizadas

As avaliações das trocas gasosas, para estimativa das variáveis fotossintéticas, foram realizadas por meio do avaliador de gases por infravermelho (LI-6800XT®-Portable Photosynthesis System, IRGA da Licor), aos 160 DAP, época em que as plantas estavam

em pleno acúmulo de fotoassimilados nas raízes, sendo analisadas: a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). A radiação fotossinteticamente ativa foi padronizada em luz saturante artificial de 1000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e o CO₂ em concentração na c\u00e2mara de 420 ppm. As medi\u00e7\u00f5es foram realizadas no per\u00edodo da manh\u00e3 por volta das 9:00h, em dias sem nebulosidade, tomando-se por padr\u00e3o a folha mais nova, totalmente expandida, e sem a ocorr\u00eancia visual de qualquer tipo de anomalia, sendo realizada sempre que a umidade do solo atingiu \u00e0 tens\u00e3o requerida pelo tratamento experimental adotado. Foram avaliadas duas folhas por planta.

Tamb\u00e9m foram mensurados os \u00edndices Dualex de clorofila, balan\u00e7o de nitrog\u00eanio, antocianina e flavonoides atrav\u00e9s do aparelho sensor \u00f3ptico analisador de folhas Dualex (Dualex\u2122, da Force-A, Orsay, Fran\u00e7a). Essas vari\u00e1veis foram avaliadas de acordo com quatro idades cronol\u00f3gicas das plantas (60, 110, 160 e 210 dias ap\u00f3s o plantio - DAP).

Delineamento experimental e tratamentos

Os dois experimentos foram montados no Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repeti\u00e7\u00f5es e com cinco tratamentos, constitu\u00eddos pelos n\u00edveis de disponibilidade h\u00eddrica baseado na tens\u00e3o de \u00e1gua no solo, sendo no primeiro ano testadas as tens\u00f5es de 30, 60, 100, 200 e 300 kPa; e no segundo ano testadas as tens\u00f5es de 20, 30, 45, 60 e 75 kPa.

Para as avalia\u00e7\u00f5es de \u00edndices de clorofila, balan\u00e7o de nitrog\u00eanio, antocianina e flavonoides, que foram realizadas em quatro idades cronol\u00f3gicas diferentes na planta, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas (5 x 4), com quatro repeti\u00e7\u00f5es, para a realiza\u00e7\u00e3o da an\u00e1lise da vari\u00e2ncia desses dados.

Os dados foram submetidos a an\u00e1lise de vari\u00e2ncia ($p \leq 0,05$) e, quando o teste F foi significativo, foram aplicados \u00e0s an\u00e1lises de regress\u00e3o com aux\u00edlio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSS\u00c3O

Todas as taxas avaliadas (Assimila\u00e7\u00e3o líquida de CO₂, condut\u00e2ncia estom\u00e1tica, concentra\u00e7\u00e3o intracelular de CO₂ e taxa de transpiração) apresentaram decr\u00e9scimo com o aumento da tens\u00e3o de \u00e1gua no solo (Figura 4), com os coeficientes dos modelos ajustados

linearmente apresentados na tabela 2. Inclusive, no primeiro ano, com a aplicação da maior restrição hídrica (tensão de 300 kPa), as plantas sucumbiram antes dos 60 DAP, evidenciando o efeito deletério causado pela elevada tensão em que a água se encontrava retida no solo.

A morte das plantas está relacionada ao estresse hídrico elevado na fase vegetativa inicial, que dependendo da severidade pode provocar diminuição do crescimento da planta, diminuição da área foliar e, dependendo do comprometimento na sua integridade funcional, podem ser danos irreversíveis, levando a morte (FARIAS et al., 2007).

Os resultados demonstram como a atividade fotossintética da yacon é afetada pela disponibilidade de água no solo, apresentando aumento à medida em que se diminuía as tensões (aumento na água disponível), sendo que no primeiro ano, a taxa máxima ($27,332 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na menor tensão aplicada (30 kPa), apontando que a planta ainda teria potencial de reposta fotossintética em condições de maior disponibilidade de água (menor tensão).

Outro resultado interessante, foi a demonstração de capacidade limite da yacon de resistir ao déficit hídrico, que foi próximo da tensão de 200 kPa, quando a planta atingiu a menor taxa de assimilação ($11,607 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), que representa uma diminuição de 57,53% da capacidade fotossintética da planta, antes da morte provocada pela tensão de 300 kPa (Figura 4 A1).

Mesmo no segundo ano, a taxa máxima de assimilação ($29,276 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na menor tensão aplicada (20 kPa) (Figura 4 A2), quase na capacidade de campo do solo que foi estimada em 10 kPa, demonstrando o quanto que a yacon é responsiva a disponibilidade de água.

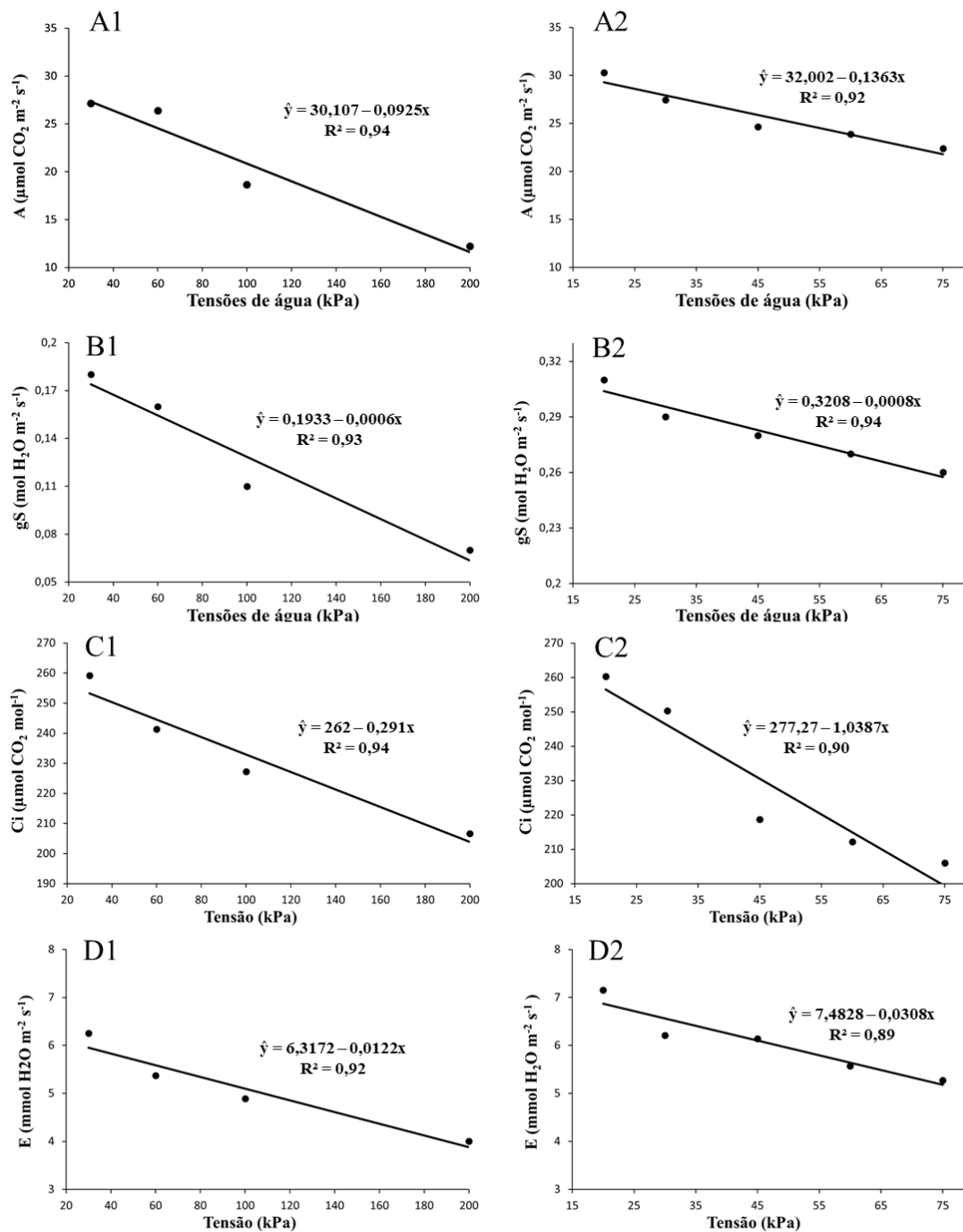


Figura 4. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A1 e A2), condutância estomática (B1 e B2), concentração intercelular de CO₂ (C1 e C2) e taxa de transpiração (D1 e D2) em plantas de yacon, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21. * Os números ao lado das letras identificam o ano de realização do experimento, sendo (1) primeiro experimento (2020) e (2) segundo experimento (2021).

Esse comportamento da yacon, apresentando resposta a disponibilidade de água, porém com capacidade de resistir situações drásticas de déficit hídrico, foi citado por

Carvalho et al. (2021), que notou que a planta praticamente paralisou seu crescimento para resistir ao déficit hídrico e retomou de forma acelerada, e com ganhos produtivos, tão logo aumentou a disponibilidade hídrica. Esse processo está relacionado ao balanço hormonal da planta, que quando enfrenta períodos de baixa disponibilidade hídrica as raízes passam a sintetizar ácido abscísico (ABA), quando esse ácido chega até as folhas, promove a inibição do crescimento e fechamento estomático (TAIZ et al., 2021), consequentemente ocorre a diminuição da fotossíntese.

Tabela 2. Coeficientes dos modelos ajustados aos índices de clorofila, balanço de nitrogênio e índices de flavonoides em plantas de yacon, ao longo do tempo, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21.

Variável	Tensão (kPa)	a	¹ b	² c	R ²
Ano 2020					
Índice de clorofila	30	44,52	-0,093	0,0002**	99,69
	60	38,65	-0,017**	--	95,97
	100	37,56	-0,012**	--	98,88
	200	36,79	-0,017*	--	89,26
balanço de nitrogênio	30	50,87	-0,17	0,0005**	100,00
	60	48,14	-0,15	0,0004**	96,08
	100	39,57	0,032*	--	82,45
	200	32,39	0,051	-0,0003**	98,67
Índice de flavonoides	30	0,79	0,0003	-0,00001**	94,97
	60	0,94	0,0001	-0,000004**	96,61
	100	1,06	ns	--	--
	200	1,22	-0,002	0,000008**	91,48
Ano 2021					
Índice de clorofila	20	42,33	-0,017**	--	99,07
	30	41,58	-0,016**	--	95,15
	45	39,29	-0,008*	--	85,94
	60	37,23	-0,006**	--	91,20
	75	37,49	-0,013**	--	94,39
balanço de nitrogênio	20	45,33	-0,058*	--	90,46
	30	45,78	-0,062**	--	96,08
	45	44,99	-0,059**	--	92,95
	60	44,73	-0,058*	--	91,51
	75	45,29	-0,064*	--	89,60
Índice de flavonoides	20	0,97	ns	--	--
	30	0,98	ns	--	--
	45	0,96	ns	--	--
	60	0,96	ns	--	--
	75	0,95	ns	--	--

¹Ajustado ao modelo linear ($\hat{y} = a+bx$); ²Ajustado ao modelo quadrático ($\hat{y} = a+bx+cx^2$); (*) Significativo ao nível de 5%, (**) Significativo ao nível de 1%, pelo teste f.

Os ganhos notados na taxa de assimilação líquida estão intimamente relacionados com o observado com a condutância estomática, que aumentou com a maior disponibilidade de água no solo (menores tensões) nos dois anos de estudo (Figura 4 B1 e B2).

Os valores de condutância estomáticas variaram de $0,07 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na tensão de 200 kPa no primeiro experimento a $0,30 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na tensão de 20 kPa no segundo experimento. Esse resultado significa um ganho na ordem acima de 400% na condutância estomáticas na condição de maior disponibilidade de água. Com a maior abertura dos estômatos, haverá maior concentração intercelular de CO_2 , também observada (Figura 4 C1 e C2), conseqüentemente, aumenta o fluxo de CO_2 em direção ao sítio de carboxilação favorecendo a realização do processo fisiológico.

É esperado que com maiores valores de condutância estomática haja acréscimo na concentração intercelular de CO_2 , pois com quanto maior a abertura estomática mais CO_2 será difundido para a câmara subestomática (NASCIMENTO, 2009). Pedrosa et al. (2020) já havia apontado essa relação trabalhando com mudas de yacon. Isso mostra que a uma condição de limitação na condução estomática, como o déficit hídrico, tem grande influência no desempenho fotossintético da yacon.

A taxa de transpiração também está relacionada condutância estomática e por isso tem comportamento semelhante, com aumento à medida em que a água se encontrava mais disponível no solo (menores tensões). No primeiro ano as maiores taxas de transpiração foram observadas na tensão de 30 kPa ($5,95 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e no segundo ano na tensão de 20 kPa ($6,86 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 4 D1 e D2). Comportamento semelhante foi notado em outras plantas, como por Zorzzi (2016), trabalhando com couve chinesa que observou a maior taxa transpiratória ($5,8 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na menor faixa de tensão testada (13 a 17 kPa).

A taxa transpiratória tende a ser maior conforme as plantas têm maior facilidade em absorver a água do solo (FLOSS, 2011). Na planta, a água atua como reservatório de calor, desta forma permite que a planta absorva grande quantidade de radiação solar sem que ocorra aumento da sua temperatura a níveis não toleráveis pelas células, assim a transpiração proporciona uma refrigeração da planta, dissipando o calor absorvido da radiação solar (TAIZ et al., 2021).

Dessa maneira, fica evidente que o manejo da irrigação de forma a promover a manutenção da umidade do solo em tensões mais baixas, é fundamental para que os processos fotossintéticos não sejam comprometidos e acabem por causar diminuição na produtividade e qualidade da produção da yacon.

Houve interação significativa entre as tensões de água no solo e as épocas de avaliação para as variáveis índice de clorofila, balanço de nitrogênio e índice de flavonoides, no primeiro e no segundo ano, por isso foi feito o desdobramento para se conhecer o comportamento fisiológica da yacon, ao longo do tempo, em função de cada tensão de aplicada. O índice de antocianinas foi exceção, pois em ambos os experimentos, não houve efeito significativo.

Para o índice de clorofila no primeiro ano de estudo (2020), quando foram aplicadas tensões em amplitudes maiores (30 a 300 kPa), notou-se que as plantas apresentaram diminuição linear e decrescente ao longo do tempo, com exceção das plantas crescendo em condições de tensão de 30 kPa, que apresentou um aumento no índice de clorofila aos 210 dias de ciclo (Figura 5 A1), comportamento, possivelmente, reflexo das melhores condições, maior disponibilidade de água, que favoreceu com que a planta sentisse menos ao final do ciclo, mantendo algum investimento os aparatos fotossintetizantes. No segundo ano notou-se comportamento bem semelhante, no entanto, todas as plantas, independente da tensão aplicada, apresentaram diminuição linear e decrescente ao longo do tempo (Figura 5 A2).

De modo geral, pode-se observar que os índices de clorofila foram maiores nas plantas que cresceram sob condições de maiores disponibilidade hídrica (menores tensões), sendo que o menor valor observado (33,34 índice Dualex) foi ao final do ciclo (210 DAP), no primeiro ano de estudo, na condição de maior restrição hídrica (tensões de 200 kPa). E os maiores índices (41,41), observados no segundo, no início do ciclo (60 DAP), na condição de maior disponibilidade hídrica (tensões de 20 kPa) (Figura 5 A1 e A2).

Com o balanço de nitrogênio nas plantas, foi observado comportamento semelhante, devido à alta correlação que há entre essas duas variáveis, já que o nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila. Também, houve uma diminuição linear e decrescente ao longo do tempo, no balanço de nitrogênio nas plantas, com o aumento das restrições hídricas (aumento das tensões) e, também, foi notado que as plantas que cresceram em condições de menor tensão de água no solo, apresentaram maiores balanços de nitrogênio (Figura 5 B1 e B2), inclusive ficando mais evidente no primeiro ano de experimento (2020), devido a amplitude das tensões aplicadas, que levaram as plantas a sofrerem mais, mediante a maiores restrições hídricas com a aplicação de maiores tensões de água no solo (200 kPa).

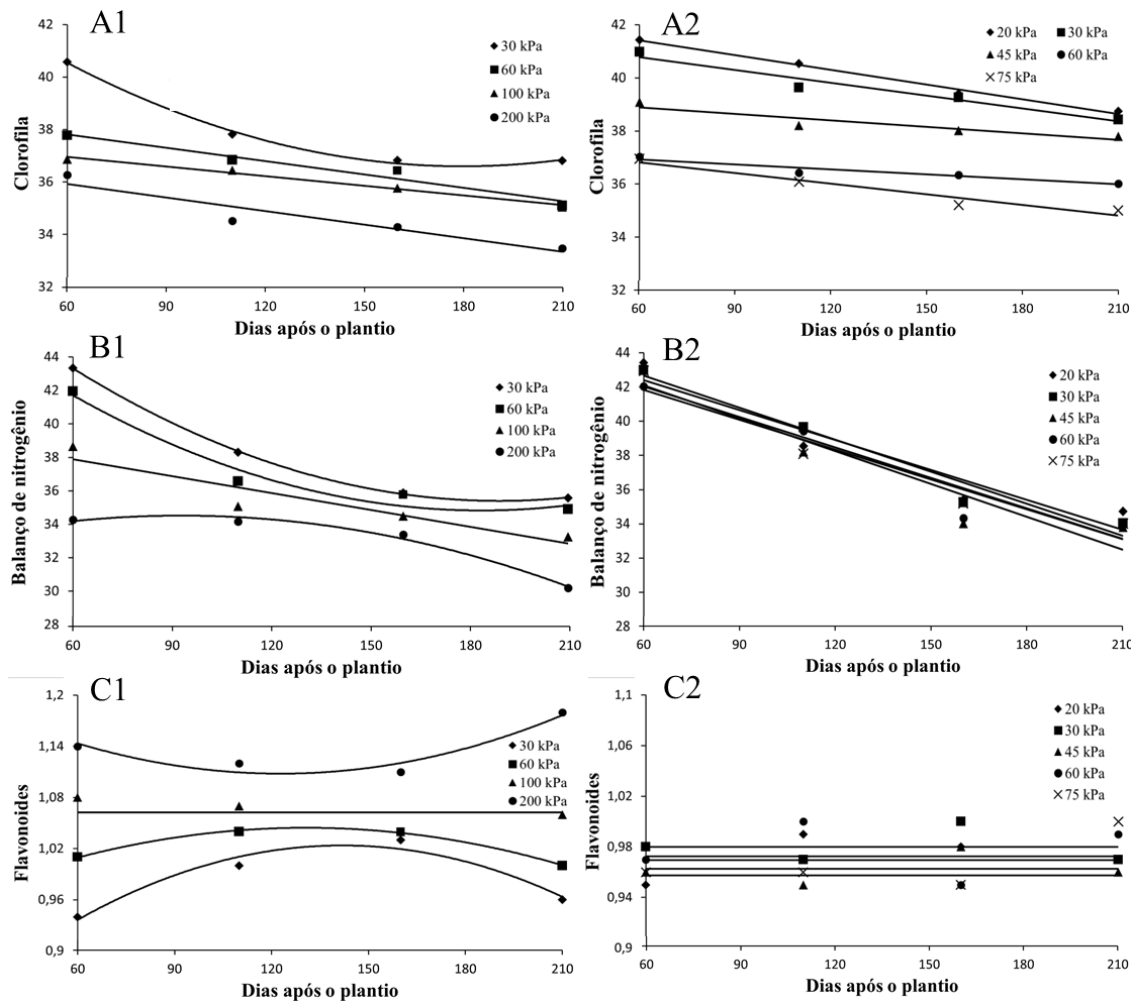


Figura 5. Índice de clorofila (A1 e A2), balanço de nitrogênio (B1 e B2) e Índice de flavonoides (C1 e C2), em plantas de yacón, ao longo do tempo, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21. * Os números ao lado das letras identificam o ano de realização do experimento, sendo (1) primeiro experimento (2020) e (2) segundo experimento (2021). Os Coeficientes dos modelos ajustados encontram-se na tabela 1.

Esse resultado pode ser atribuído a dois fatores, a tensão elevada resultando em baixa disponibilidade de água e conseqüentemente menor absorção de nitrogênio e a idade das plantas de yacón, fato observado por Mendes (2019), que ao traçar a marcha de absorção de nutrientes da yacón em condições ideais de cultivo, notou maiores índices nitrogênio na folha no início do ciclo e menores ao final do ciclo da cultura. Comportamento também observado por Reis et al., (2006), que observaram que a concentração de clorofila se correlacionou positivamente com o índice de nitrogênio nas folhas do cafeeiro.

Quanto ao índice de flavonoides, observa-se comportamento diferente em função dos níveis de disponibilidade hídrica aplicado, foi significativo apenas no primeiro experimento (Tabela 2), quando se tinha maior amplitude dos níveis aplicados. Na

condição de maior restrição hídrica (200 kPa), as plantas sempre apresentaram maiores índices, inclusive crescente ao final do ciclo, com os maiores índices (1,17) alcançados aos 210 DAP. No entanto, em condições de maiores disponibilidade de água (principalmente 30 e 60 kPa), nota-se comportamento inverso, com os índices sempre menores, inclusive decrescente ao final do ciclo, sendo registrado os menores índices de flavonoides (1,17), aos 210 DAP, em plantas que cresceram sobre menor tensão (30 kPa) (Figura 5 C1).

Esse comportamento indicaria que a yacon sofre estresse sob as condições de maiores restrições hídricas (elevadas tensões de água no solo), sobretudo, a partir do 100 kPa, tendo em vista que nessa condição a planta apresentou índices médios de flavonoides e sem variação significativa ao longo do tempo (Figura 5 C1), o que também pode ser notado no segundo ano de experimento, em que foram aplicadas menores tensões e menor amplitude (30 a 75 kPa) (Figura 5 C2). Esse é um comportamento que permitiria a suposição de que a planta não teria ativado mecanismos de defesa contra o estresse, até esse ponto, indicando sua capacidade de resistir nessas condições de disponibilidade de água (abaixo de 100 kPa), apesar da diminuição na capacidade de produção de fotoassimilados, já demonstrada, que pode influenciar negativamente na produção da planta.

Flavonoides são metabólitos secundários que representam uma interface química entre as plantas e o ambiente em que ela está inserida, logo, sua síntese é frequentemente afetada pelas condições ambientais (CRUZ, et al., 2012). Por não fazerem parte diretamente dos processos primários da planta, como fotossíntese, absorção de nutrientes, síntese de proteínas, etc., os metabólitos secundários estão associados com a defesa da planta (VIZZOTTO et al., 2010). Sob condições de estresse hídrico, há o fechamento dos estômatos, levando a uma diminuição da difusão de CO₂ para o mesófilo foliar, ocasionando assim a diminuição da taxa fotossintética (conforme já demonstrado), afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade das culturas, logo há ativação do metabolismo secundário como forma de proteção da planta ao estresse (SANTOS et al., 2004). Senad et al. (2018), já afirmavam que plantas que são expostas a longos períodos de déficit hídrico, tendem a aumentar a produção de flavonoides como indicativo de ativação de mecanismos de defesa da planta para amenizar os efeitos da falta de água.

CONCLUSÃO

A maior taxa fotossintética máxima foi observada na maior disponibilidade hídrica testada (20 kPa). Os índices de clorofila foram maiores nas plantas que cresceram sob condições de maiores disponibilidade hídrica.

De modo geral, o melhor desempenho foi notado quando a planta foi submetida aos maiores índices de disponibilidade hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 625 p., 2007.

CARVALHO, A. H. O.; PEDROSA, J. L. F.; DE OLIVEIRA, F. L.; PARAJARA, M. C.; ROCHA, L. J. F. N.; LIMA, W. L.; TEIXEIRA, A. G. Developing row spacing and planting density recommendations for yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in tropical highland conditions. **Chilean Journal of Agricultural Research**. v.81, p.237 - 245, 2021.

CRUZ, W. P.; SALGADO, F. H. M.; FERREIRA JÚNIOR, D. F.; FIDELIS, R. R. Nutrition and genetics in the occurrence of pests, natural enemies and attack leaf miner in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, n. 1, v. 3, p. 74-81, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p. 2011.

FARIAS, J. R. B; NEPOMUCENO, A. L; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, (Circular Técnica, Nº 48, p. 9, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia** [online]. V. 38(2), p. 109-112, 2014.

FLOSS, E. L. Palestras. In: **Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**. Passo Fundo: UPF, p. 20-26, 2011.

GONÇALVES, M. S; RIBEIRO, W. R; PINHEIRO, A. A; MARTINS, C. A; CÓSER, A.; REIS, E. F; GARCIA, G. O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. *Journal of Experimental Agriculture International*, v.23, n.4, p.1-12, 2018.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARQUES, C., TOAZZA, C. E. B., SARI, R., MITTERER-DALTOÉ, M. L., DO AMARAL, W., MASSON, M. L. Long-term storage of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice: Phytochemical profile, in vitro prebiotic potential and discriminant bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 41, p. 100970, 2021.

MENDES, T. P. **Marcha de absorção de nutrientes em yacon**. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico**. (Dissertação Mestrado) Ilhéus: UESC, 110 p, 2009.

PEDROSA, J. L. F.; OLIVEIRA, F. L.; ZUCOLOTO, M.; TEIXEIRA, A. G.; PARAJARA, M. C.; TOMAZ, M. A. Yacon propagation from rhizophores with different numbers of buds. *Revista de la facultad de ciencias agrarias*. v.52, p.1853 - 1865, 2020.

PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, E. A.; ELEUTÉRIO, M. M.; REIS, E. D.; SANTOS, A. D. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 12(1), 151-158. 2004.

REIS, A. R. D., FURLANI JUNIOR, E., BUZETTI, S., ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, p. 163-171, 2006.

RIBEIRO, W. R. **Manejo da umidade do solo por Reflectometria no Domínio do Tempo na cultura do cafeeiro conilon clonal**. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, UFES, Alegre, ES, 2019.

SANTOS, T. T.; SANTOS, M.; MENDONÇA, M.; SILVA JUNIOR, C.; SILVA-MANN, R.; ARRIGONI-BLANK, M. D. F.; BLANK, A. F. Efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e teor de óleo essencial em sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). **Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura**, Campo Grande: SOB, v. 22, p. 1- 4, 2004.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), p. 60, 2003.

SENAD, M. et al. Response of cherry tomato seedlings to liquid fertiliser application under water stress, **Horticultural Science**, v. 45, p. 22-28, 2018

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. Artmed Editora, V. 6, 2021.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 44, n. 5, p. 892-897, 1980.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; SOUZA, R. J.; CONSONI, R. Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.117-124, 2011.

VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. **Documento: Embrapa Clima Temperado, Pelotas**, n. 316, p. 7-15, 2010.

ZORZZI, I. C. **Produção de couve chinesa com diferentes tensões de água no solo**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

ARTIGO 2: ASPECTOS AGRONÔMICOS DA YACON CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

RESUMO

Estudos recentes têm comprovado os mais variados benefícios que yacon promove à saúde humana, resultando na abertura de novos horizontes sobre o seu cultivo impulsionado pelo aumento no consumo dessa raiz. A expansão do seu cultivo para novas áreas, gera novas demandas para a pesquisa, dentre elas, pela geração de informações sobre o manejo correto da irrigação para cultura. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é conhecer as respostas agronômicas e a demanda hídrica da yacon, submetida a diferentes níveis de disponibilidade de água no solo. Foram realizados dois ciclos de cultivo, sendo o primeiro trabalhando com maior amplitude de disponibilidade de água no solo, buscando uma faixa na qual a planta se desenvolvesse melhor. No segundo ciclo foi realizada uma maior aproximação da real demanda da yacon, testando-se uma menor amplitude de disponibilidade de água, dentro da faixa de melhor resultado obtida no ciclo anterior. Cada ciclo foi composto por um experimento, ambos foram conduzidos em vasos de 25 litros preenchidos com material de solo coletado a uma profundidade de 0,0 a 30,0 cm e alocados em casa de vegetação com efeito “guarda-chuva”. Os níveis de disponibilidade hídrica testados no primeiro experimento foram 30, 60, 100, 200 e 300 kPa, já no segundo experimento as plantas de yacon foram submetidas a 20, 30, 45, 60 e 75 kPa. No primeiro e segundo experimentos foram avaliadas altura da planta, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, caules, rizóforos, raízes e raízes tuberosas. Apenas no segundo experimento foi avaliado a produção de raízes comerciais total e por classes, consumo de água das plantas e eficiência no uso da água. A produção da yacon foi 16,05% menor a cada 10 kPa de diminuição da disponibilidade hídrica. A maior demanda hídrica apresentada pela da yacon foi na idade cronológica dos 160 dias após o plantio, independente da tensão aplicada. A maior eficiência no uso da água foi observada com a tensão de 30 kPa, com um consumo estimado de 841,4 mm de água durante o ciclo, apontando que essa pode ser a tensão a ser observada no manejo da irrigação, visando a melhor relação custo-benefício.

Palavras-chave: Déficit hídrico; *Smallanthus sonchifolius*; manejo de irrigação; eficiência de uso da água.

**ARTICLE 2: AGRONOMIC ASPECTS OF YACON CULTIVATED IN A
PROTECTED ENVIRONMENT UNDER DIFFERENT WATER
AVAILABILITIES**

ABSTRACT

Recent studies have proven the most varied benefits that yacon promotes to human health, resulting in the opening of new horizons on its cultivation driven by the increase in consumption of this root. The expansion of its cultivation to new areas, generates new demands for research, among them, the generation of information on the correct management of irrigation for culture. In this sense, the objective of this work is to know the agronomic responses and water demand of yacon, submitted to different levels of water availability in the soil. Two cultivation cycles were carried out, the first one working with a greater range of water availability in the soil, seeking a range in which the plant would develop better. In the second cycle, a closer approximation of yacon's actual demand was carried out, testing a smaller range of water availability, within the best result range obtained in the previous cycle. Each cycle consisted of one experiment, both were conducted in 25-liter pots filled with soil material collected at a depth of 0.0 to 30.0 cm and placed in a greenhouse with an “umbrella” effect. The water availability levels tested in the first experiment were 30, 60, 100, 200 and 300 kPa, while in the second experiment the yacon plants were subjected to 20, 30, 45, 60 and 75 kPa. In the first and second experiments, plant height, number of leaves, leaf area, dry mass of leaves, stems, rhizophores, roots and tuberous roots were evaluated. Only in the second experiment was the production of commercial roots total and by classes, plant water consumption and water use efficiency evaluated. Yacon production was 16.05% lower for every 10 kPa decrease in water availability. The highest water demand presented by yacon was at the chronological age of 160 days after planting, regardless of the applied tension. The highest efficiency in water use was observed with a tension of 30 kPa, with an estimated consumption of 841.4 mm of water during the cycle, indicating that this may be the tension to be observed in irrigation management, aiming at the best relation cost benefit.

Keywords: Water deficit; *Smallanthus sonchifolius*; irrigation management; water use efficiency.

INTRODUÇÃO

A busca do mercado consumidor por novidades na área alimentar, principalmente para o consumo *in natura*, aliados as características que proporcionam benefícios para a saúde, tem gerado interesse pelas hortaliças não convencionais (BARBOSA et al., 2021). Tal tendência fez com que algumas espécies, tidas como inovadoras, começassem a ser cultivadas comercialmente pelo mundo (DE ALMEIDA PAULA et al., 2015).

Dentre essas espécies está a yacon (*Smallanthus sonchifolius*), que tem sido considerada como um alimento funcional, por conter componentes biologicamente ativos que podem fornecer benefícios fisiológicos, além das funções nutricionais básicas para reduzir o risco de doenças crônicas (MARQUES et al., 2022).

No entanto, o sucesso do cultivo agrícola de uma espécie inovadora passará pela geração de informações que irão sustentar o planejamento das técnicas para seu manejo, e um dos conhecimentos indispensáveis a esse planejamento é quanto as necessidades hídricas da espécie.

A água desempenha papel fundamental no metabolismo das plantas, sendo que na sua ausência a planta sofre uma série de alterações fisiológicas, que interferem diretamente no seu crescimento e desenvolvimento, afetando sua produção agrícola, podendo em muitos casos levar a morte (TAIZ et al., 2021). Segundo Clay e Trooien (2017), o manejo correto da irrigação, mantendo o solo em condições ideais de umidade tende a favorecer a absorção de água e nutrientes pela planta, promovendo assim condições que favorecem o crescimento e desenvolvimento e produtividade das culturas. No caso da yacon, as informações sobre sua demanda hídrica são praticamente inexistentes, mostrando uma lacuna a ser preenchida que é fundamental para o sucesso dos cultivos agrícolas dessa planta.

Existem vários métodos para auxiliar o manejo correto da irrigação, e dentre os métodos de manejo de irrigação utilizados nas pesquisas científicas, destaca-se o manejo via monitoramento da tensão da água no solo estimando o conteúdo de água disponível em função de um determinado potencial matricial, conforme estudos recentes desenvolvidos por Gonçalves et al. (2018) e Ribeiro (2019). Com esse método determina-se que o momento ideal para irrigar será sempre quando a umidade do solo atingir a tensão crítica preestabelecida, de modo que não afete o desempenho da cultura (VILAS BOAS et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é conhecer as respostas agronômicas e a demanda hídrica da yacon, submetida a diferentes níveis de disponibilidade de água no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e preparo da área experimental

O trabalho foi conduzido na Fazenda Garganta, distrito de Celina, no município de Alegre, no sul do Espírito Santo, que se encontra a uma altitude de 680 m, latitude de 20° 47' 01" Sul e longitude de 41° 36' 56" Oeste. O clima da região Sul do Espírito Santo, segundo classificação de Köeppen, é do tipo "Aw", com duas estações bem definidas durante o ano, quente e chuvosa entre os meses de outubro a março, fria e seca nos meses de abril a setembro, com temperatura média anual de 23 °C, e precipitação anual em torno de 1.200 mm (PEZZOPANE et al., 2004).

Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro para avaliar o comportamento da yacon submetidas a tensões de água no solo com maior amplitude de tensão, buscando determinar uma faixa de melhor desenvolvimento das plantas. No segundo ano foi testada uma menor amplitude de tensões, baseado nos resultados do primeiro experimento. Os períodos experimentais foram de abril a outubro dos anos de 2020 e 2021.

Ambos os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido, em casa de vegetação com efeito "guarda-chuva" (de modo que as chuvas não influenciassem nos tratamentos) coberta com agrofílm de 150 micras, com laterais abertas na altura do dossel das plantas, facilitando a circulação de ar. Foram utilizados vasos de 25 litros preenchidos com material de solo coletado a uma profundidade de 0,0 a 30,0 cm, destorroado, passado em peneira de 4 mm e homogeneizado. O solo usado em ambos os experimentos foi retirado do mesmo local, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (EMBRAPA, 2014). Foi realizada a análise química e física do material indicando as seguintes características: pH 5,68 em água, 6,36 mg dm⁻³ de P, 79,00 mg dm⁻³ de K, 2,41 cmolc dm⁻³ de Ca, 0,60 cmolc dm⁻³ de Mg, 0,00 cmolc dm⁻³ de Al, 3,23 cmolc dm⁻³ de soma de bases trocáveis, 6,78 cmolc dm⁻³ de capacidade de troca catiônica efetiva e 47,65% de índice de saturação por bases, areia grossa 48 g kg⁻¹, areia fina 554 g kg⁻¹; silte 210 g kg⁻¹; argila 188 g kg⁻¹. Com base nessa análise, foi realizada aplicação de 0,78 kg para cada 1000 litros de solo de calcário dolomítico, com PRNT de 95%, para elevação da saturação de bases para 70%. Também, a partir dessa análise,

foram realizadas as adubações de plantio, com 22,35 g de superfosfato simples por vaso e de cobertura com 20,47 e 17,85 g de ureia e cloreto de potássio respectivamente, parcelados em duas vezes, aos 60 e 100 DAP, valores baseados nas necessidades nutricionais da yacon, determinadas por Mendes (2019).

Foram coletadas também amostras de solos para determinar a curva de retenção da água no solo (membrana extratora de Richards) no laboratório de recursos hídricos. Em seguida, foi ajustado ao modelo proposto por Van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão (potencial matricial). A partir dessa equação e dos valores observados foi gerada a equação de retenção da água no solo para a camada de solo coletada (Tabela 1).

Tabela 1. Equação de retenção de água no solo na profundidade de 0-30 cm. Alegre-ES, 2020.

Coeficientes da equação								
θ_r	θ_s		α			n		
0,179347	0,584542		0,965413			1,517895		
Conteúdo de água para os respectivos potenciais								
ψ_m (kPa)	- 0	- 6	- 10	- 30	- 60	- 100	- 800	- 1500
θ (m ³ /m ³)	0,5845	0,3417	0,2991	0,2496	0,2258	0,2238	0,1947	0,1845
ψ_m (cm H ₂ O)	- 0	- 61,2	- 102	- 306	- 612	- 1020	- 8160	- 15300
pF = log ₁₀ cm H ₂ O	0	1,79	2,01	2,49	2,79	3,01	3,91	4,18

Densidade do solo = 1,18 Mg/m³ Densidade de partículas = 2,84 Mg/m³

*Os parâmetros da equação foram obtidos a partir dos dados de potencial matricial em kPa

Equipamentos e sistema de irrigação

A partir da equação ajustada de Van Genuchten foram obtidos os valores da umidade volumétrica nos pontos amostrados correspondente as respectivas tensões de água no solo. Dessa forma foram definidas as umidades correspondentes à tensão utilizada para cada nível de disponibilidade hídrica. Tal umidade foi correlacionada com a leitura realizada pelo medidor de umidade do solo HIDROFARM® (medidor e sensor de umidade do solo da Falker) no primeiro experimento e pelo Field Scout modelo TM TDR300® (medidor e sensor de umidade do solo da Spectrum Technologies), no segundo experimento (Figura 1). Foi realizada a calibração dos aparelhos, a fim de ajustar a leitura do equipamento ao tipo de solo utilizado, sendo processo fundamental para minimizar erros e garantir leituras reais da umidade.

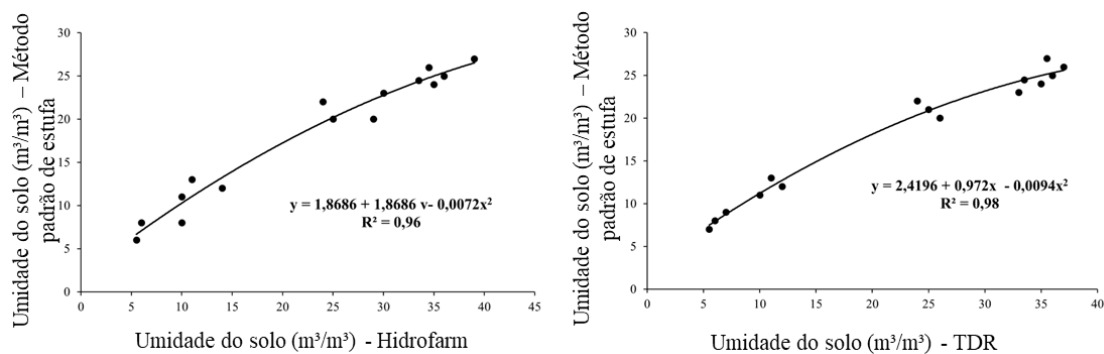


Figura 1. Curvas de calibração dos aparelhos: correlação entre umidade do solo pelo método padrão gravimétrico em função do aparelho HIDROFARM no primeiro experimento e do TDR no segundo experimento. Alegre-ES, 2020/21.

Para a calibração foi adotada a metodologia descrita por Ribeiro (2019). As leituras com o HIDROFARM e o TDR foram realizadas diariamente sempre as 11 e às 17 horas em quatro plantas de cada tratamento. Dessa forma, sempre que a média da umidade do solo nessas quatro unidades experimentais atingiu a umidade correspondente à tensão requerida pelo tratamento experimental adotado, a irrigação era realizada com volume de água necessário para que o solo retornasse à umidade correspondente a tensão de 10 kPa. Cada parcela experimental teve a quantidade necessária de água para a reposição determinada de acordo com Bernardo et al. (2007).

As plantas foram irrigadas via gotejamento, com vazão de $4,0 \text{ L h}^{-1}$, com um gotejador GA-4 autocompensante com base de rosca, em cada vaso. Foram utilizadas mangueiras de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, sendo que cada tensão testada era irrigada por uma linha de mangueira, totalizando as cinco parcelas, sendo que as diferentes lâminas eram aplicadas baseadas no tempo de funcionamento e nas vazões dos gotejadores de cada parcela. Estas foram conectadas nas linhas de derivação de (DN 32) cada saída de linha continha uma válvula manual para o controle do tempo de rega. Para alimentação do sistema foi utilizada uma caixa d'água de 1000 L posicionada a uma diferença de nível de aproximadamente 10 metros, para que o sistema operasse por gravidade (Figura 2).

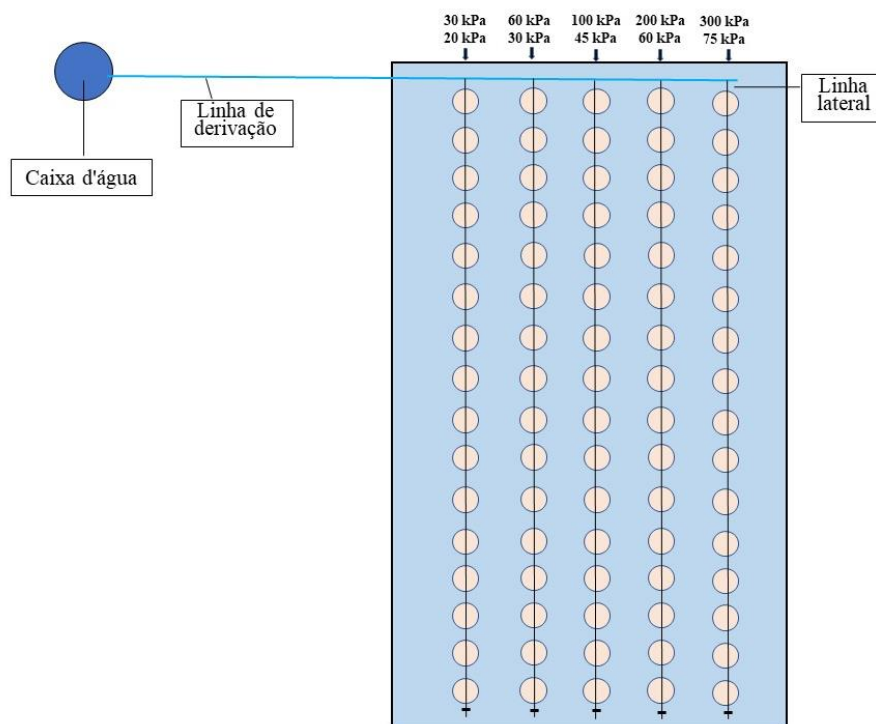


Figura 2. Croqui dos experimentos em casa de vegetação no primeiro. Alegre-ES, 2020/21.

Após a montagem do sistema, foram realizados testes para determinar a vazão média dos gotejadores e os seus respectivos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação. Em cada linha foram colocados recipientes embaixo de 5 emissores, de modo a fazer a coleta de água durante dois minutos. Após a obtenção das lâminas médias foi calculado o CUD. O sistema apresentou 95% de uniformidade, sendo classificado como excelente, de acordo com Mantovani (2001).

Monitoramento climático

Para o monitoramento das condições meteorológicas fora da casa de vegetação, foi instalada uma estação meteorológica automática (modelo E5000, Irriplus®) e para o monitoramento periódico da temperatura e umidade dentro e fora da casa de vegetação, foi usado o Termohigrômetro Digital (CEM DT-625®, Akso).

Durante o período de condução dos experimentos, foi registrada temperatura média de 19,40°C, para o primeiro ano de experimentação, e de 20,21°C para o segundo ano. Com as temperaturas aferidas, pode-se verificar que o ambiente externo registrava temperaturas de 2,7°C (primeiro experimento) e 2,5°C (segundo experimento) mais baixas do que o ambiente dentro da casa de vegetação, no momento das avaliações (Figura

3). Dessa forma, notou-se que as temperaturas estavam dentro da faixa considerada como ótima para o desenvolvimento da yacon (entre 18 e 25 °C) segundo Seminario et al. (2003).

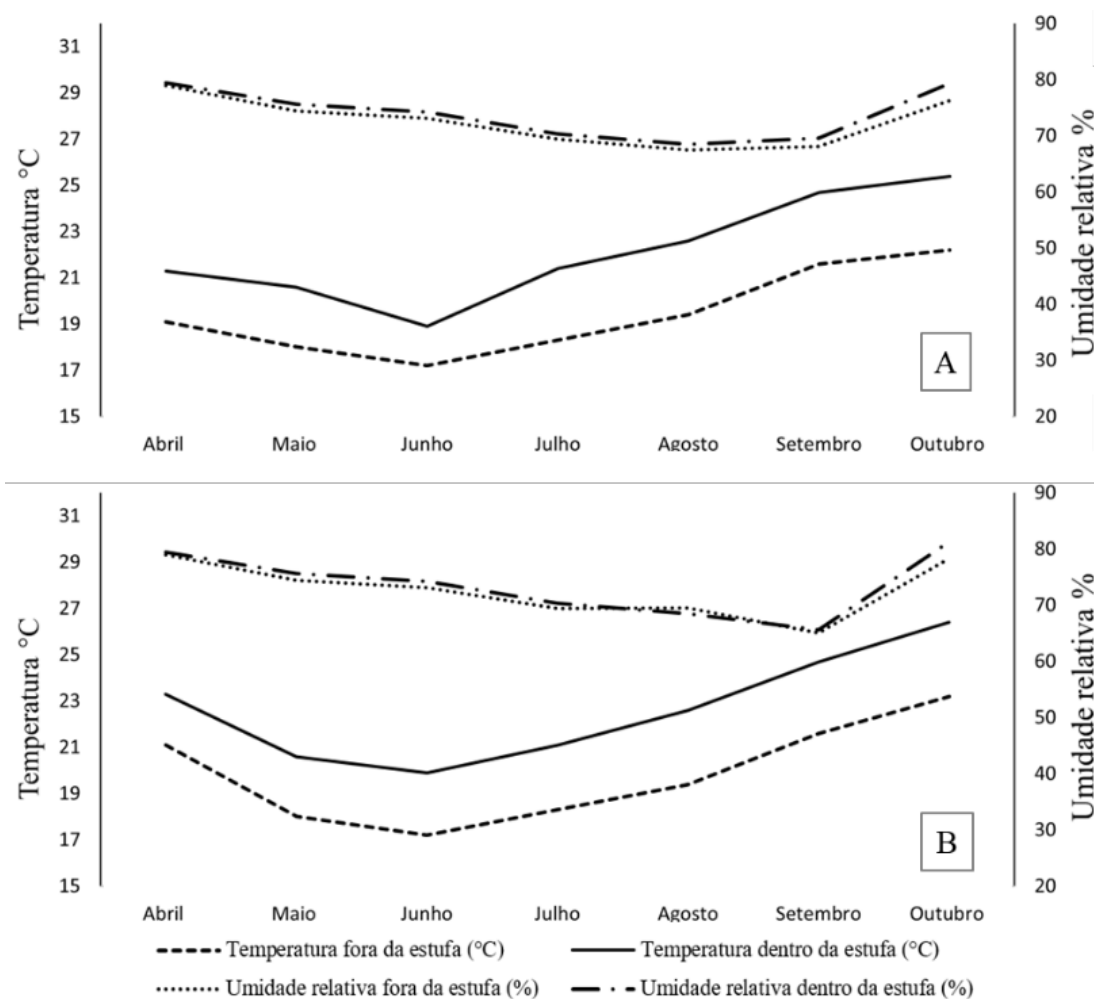


Figura 3. Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar dentro e fora da casa de vegetação no primeiro (A) e no segundo experimento (B). Alegre-ES, 2020/21.

Caracterização do material vegetal

A yacon foi propagada através de mudas obtidas por meio de porções de rizóforos com 4 a 5 gemas, com peso médio próximo a 10g, previamente desinfetados em uma solução clorada a 1% e plantados a 10 cm de profundidade.

Avaliações realizadas

Foram avaliadas variáveis fitotécnicas de desenvolvimento vegetativo: altura da planta, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, caules, rizóforos, raízes e raízes tuberosas (quando presentes). As análises destrutivas foram realizadas em quatro plantas por subparcela. No segundo experimento ainda avaliadas: produção de raízes

comerciais total e por classes, classificadas de acordo com Oliveira (2016); consumo de água por idade cronológica e total do experimento, mensuração feita com base nas informações do número de irrigações e lâmina líquida de irrigação, para cada tratamento, sendo expresso em milímetros (mm) e eficiência no uso da água, calculada em função da produção e da quantidade de água consumida pela cultura em cada tratamento durante o ciclo, de acordo com a equação abaixo, proposta por Doorenbos e Kassan (1994).

$$EUA = \frac{P}{W}$$

EUA – Eficiência do uso da água (kg m^{-3});

P – Produtividade (kg ha^{-1});

W – Quantidade de água aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

Delineamento experimental e tratamentos

Os dois experimentos foram montados no Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repetições e com cinco tratamentos, constituídos pelos níveis de disponibilidade hídrica baseado na tensão de água no solo, sendo no primeiro ano testadas as tensões de 30, 60, 100, 200 e 300 kPa; e no segundo ano testadas as tensões de 20, 30, 45, 60 e 75 kPa.

Para as avaliações de índices de clorofila, balanço de nitrogênio, antocianina e flavonoides, que foram realizadas em quatro idades cronológicas diferentes na planta, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas (5 x 4), com quatro repetições, para a realização da análise da variância desses dados.

Os dados foram submetidos a análise de variância ($p \leq 0,05$) e, quando o teste F foi significativo, foram aplicados às análises de regressão com auxílio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSÃO

Houve interação significativa entre os níveis de disponibilidade hídrica e as épocas de avaliação para as variáveis área foliar, número de folhas, altura e todas as variáveis de massa seca avaliadas no primeiro e no segundo experimento, por isso foi feito o desdobramento para se conhecer o comportamento da yacon, ao longo do tempo, em função de cada nível de disponibilidade hídrica testada. Para o maior nível de restrição hídrica testada (tensão de 300 kPa), aplicada no primeiro experimento, as plantas sucumbiram antes dos 60 DAP (dias após plantio), evidenciando o efeito deletério causado as mesmas pela elevada tensão em que a água se encontrava retida no solo. De

maneira geral, as plantas sob essa condição, tiveram sua integridade funcional tão comprometida, que os danos causados foram irreversíveis, levando a morte (DA MATTA; RAMALHO, 2006).

Houve efeito significativo para número de folhas em função das disponibilidades hídricas avaliadas. O número de folhas ajustou-se o modelo quadrático em todos os níveis de disponibilidade hídrica testadas nos dois experimentos, com exceção para a tensão de 200 kPa (testada no primeiro ano), em que o número de folhas não alterou ao longo do ciclo (Tabela 2). De maneira geral, o número de folhas foi maior nas menores maiores disponibilidade de água testadas (Figura 4 A1 e A2). O comportamento quadrático observado nas tensões abaixo de 200 kPa corroboram com os resultados obtidos por Mendes (2019), que ao traçar a marcha de absorção de nutrientes da yacon em condições ideias de cultivo, notou aumento no número de folhas até aproximadamente os 120 DAP e diminuição logo em seguida.

Tabela 2. Coeficientes dos modelos ajustados para o número de folhas, área foliar e altura em plantas de yacon, ao longo do tempo, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21.

Variável	Tensão (kPa)	a	b ¹	c ²	R ²
Ano 2020					
Área foliar	30	- 187,38	7,32	-0,026*	87,04
	60	-108,40	4,81	-0,015*	91,36
	100	-87,05	4,11	-0,014*	82,03
	200	72,65	ns	--	--
Número de folhas	30	-26,00	1,03	-0,0037*	82,02
	60	-17,31	0,71	-0,0024**	96,03
	100	-13,81	0,60	-0,0021*	89,28
	200	10,31	ns	--	--
Altura	30	5,74	0,29**	--	93,55
	60	3,87	0,28**	--	96,59
	100	-20,75	0,80	-0,0022**	99,41
	200	19,06	ns	--	--
Ano 2021					
Área foliar	20	-155,75	6,98	-0,024*	81,84
	30	-164,52	6,97	-0,025*	86,87
	45	-182,99	7,04	-0,025*	87,23
	60	-188,37	6,74	-0,023*	90,79
	75	-200,85	6,90	-0,024*	89,85
Número de folhas	20	-23,37	1,02	-0,0037*	84,36
	30	-25,18	1,03	-0,0038*	88,52
	45	-27,21	1,03	-0,0037*	89,32

	60	-27,50	0,97	-0,0034**	92,86
	75	-29,43	1,00	-0,0035*	91,80
	20	-23,09	0,93	-0,0026**	94,99
	30	-24,65	0,94	-0,0026**	95,34
Altura	45	-23,34	0,95	-0,0027**	96,57
	60	-23,26	0,93	-0,0028**	98,07
	75	-23,08	0,92	-0,0028**	97,03

¹Ajustado ao modelo linear ($\hat{y} = a+bx$); ²Ajustado ao modelo quadrático ($\hat{y} = a+bx+cx^2$); (*) significativo ao nível de 5%, (**) Significativo ao nível de 1%, pelo teste f.

O comportamento da área foliar está diretamente relacionado com o número de folhas por planta, isso justifica o mesmo tipo de ajuste observado para as duas variáveis nos dois anos de cultivo (Figura 4 B1 e B2). No primeiro ano as curvas de tendências se mantiveram mais distantes, fato justificado pela maior amplitude de disponibilidade hídricas testadas, o que permitiu a percepção, com maior nitidez, dos efeitos da deficiência hídrica na diminuição da área foliar na planta, que chegou a representar diminuição de 80% a área foliar, aproximadamente, no meio do ciclo (150 DAP) (Figura 4 B1).

Essa diminuição no número de folhas, e conseqüentemente de área foliar, pode ser atribuída a uma estratégia de sobrevivência das plantas, mas que poderá implicar em perdas na sua capacidade produtiva. Segundo Bernier et al. (2008), quanto maior for a biomassa foliar de uma planta, maior a necessidade de água no solo para que a planta possa suprir a sua demanda transpiratória. Dessa forma, o menor número de folhas, ou a diminuição da área foliar, é um mecanismo que a planta utiliza visando reduzir a transpiração e a necessidade de água no solo (ANJUM et al., 2011). Em contrapartida, a área foliar está diretamente relacionada a capacidade fotossintética das plantas e conseqüentemente influencia na capacidade produtiva. Fato notado por WANG et al. (2014), que observaram que o aumento na área foliar favoreceu o crescimento vegetativo e a produção de raízes tuberosas em batata-doce.

Com relação ao porte das plantas de yacon (altura), nota-se, no primeiro experimento, comportamento linear crescente ao longo do tempo, nas duas maiores disponibilidades hídricas testadas (30 e 60 kPa). Já na tensão de 100 kPa o ajuste foi quadrático, demonstrando uma tendência de diminuição da altura das plantas, do meio para o final do ciclo. Na tensão de 200 kPa, as plantas mantiveram o mesmo porte ao longo do tempo, no entanto, com alturas em torno de 1/3 das alcançadas pelas plantas que cresceram sob maior disponibilidade de água (Figura 4 C1). Esses resultados demonstram o efeito que a

restrição hídrica provoca nas plantas de yacon, diminuindo o seu investimento no crescimento de parte aérea. A condição do déficit hídrico, pode ter promovido diminuição da turgescência celular e da produção de etileno, resultando em menor expansão celular e, conseqüentemente, menor crescimento em altura (TORRECILLAS et al., 1996).

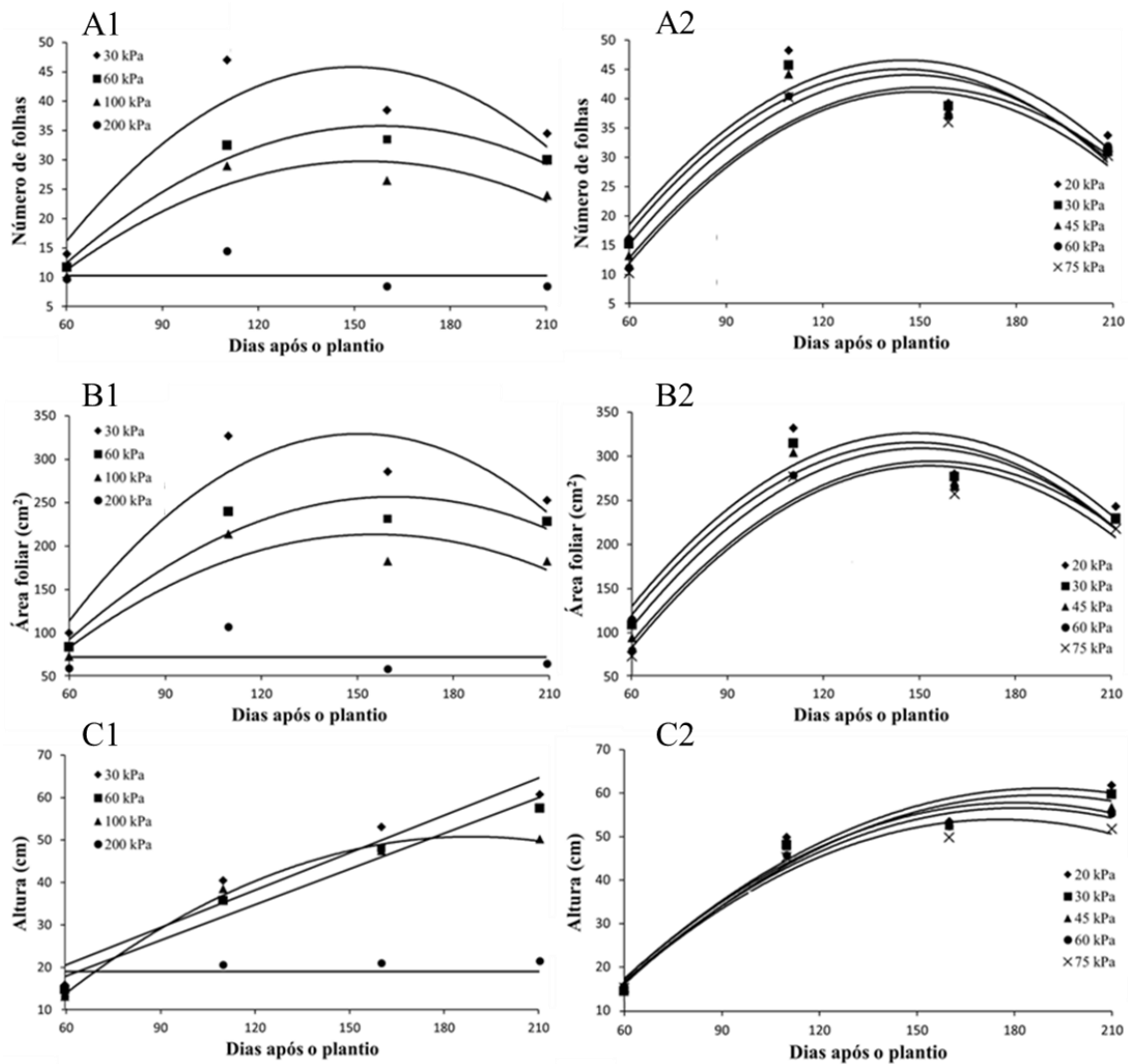


Figura 4. Número de folhas (A1 e A2), área foliar (B1 e B2) e altura (C1 e C2) em plantas de yacon, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21. * Os números ao lado das letras identificam o ano de realização do experimento, sendo (1) primeiro experimento (2020) e (2) segundo experimento (2021). Os Coeficientes dos modelos ajustados encontram-se na tabela 1.

No segundo experimento, com intervalo menores entre as tensões e com a maior disponibilidade hídrica (maior tensão aplicada foi 75 kPa) o comportamento das plantas foi bem semelhante, crescendo linearmente até o meio de ciclo (150 DAP), a partir desse

ponto apresentando uma tendência de diminuição da altura das plantas, observa-se ainda que as linhas de tendência das plantas crescidas nas maiores disponibilidades hídricas encontram sempre acima das linhas das plantas que enfrentaram, com as maiores restrições hídricas, maior dificuldade de absorção de água (Figura 4 C2). Esses resultados apontam os efeitos que a restrição hídrica tem sob o crescimento das plantas de yacon. Esse comportamento já foi descrito em outras culturas, como no pimentão em cultivo protegido, onde Carvalho et al. (2013) trabalhando com tensões que variavam de 15 a 60 kPa, notou melhor desempenho produtivo nos tratamentos mantidos sob os maiores níveis de disponibilidade hídrica, esse autor atribuiu esse comportamento a maior taxa de assimilação total dessa hortaliça, resultado da maior área foliar e fitomassa da parte aérea.

Para todos os ajustes dos acúmulos de biomassa os modelos apresentaram acurácia satisfatória de acordo com os coeficientes apresentados na tabela 3. O efeito negativo das menores disponibilidades de água no solo no acúmulo de biomassa em folhas pode ser notado nos dois experimentos, com efeito mais evidente no primeiro experimento, inclusive, observa-se que com a aplicação da tensão de 200 kPa, a planta apresentou comportamento linear decrescente (Figura 5 A1), ou seja, a planta de yacon submetida a tal disponibilidade hídrica perdeu massa seca das folhas ao longo do ciclo, terminando aos 210 DAP com diminuição de 52,5% quando comparada ao início do ciclo (60 DAP). O melhor desempenho da planta, foi no maior nível de disponibilidade hídrica testado nesse experimento (30 kPa), quando apresentou comportamento linear crescente ao longo do ciclo, alcançando acúmulo de biomassa em folhas, 10 vezes maior que o observado nas plantas sob maior restrição hídrica (200 kPa).

Tabela 3. Coeficientes dos modelos ajustados para massa seca de folha, caule, risóforo, raiz e raiz tuberosa em plantas de yacon, ao longo do tempo, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21.

Variável	Tensão (kPa)	a	b ¹	c ²	R ²
Ano 2020					
Massa seca da folha	30	0,37	0,17**	--	98,51
	60	-1,77	0,19	0,00037**	99,48
	100	0,45	0,13	0,00029**	99,15
	200	7,16	0,02*	--	95,01
Massa seca do caule	30	-11,62	0,22**	--	98,58
	60	-6,74	0,14**	--	99,21
	100	-4,09	0,10**	--	99,87
	200	-0,32	0,03*	--	96,87

Massa seca dos risóforos	30	-0,76	0,15**	--	99,74
	60	2,16	0,09**	--	99,43
	100	3,74	0,06*	--	97,18
	200	3,56	0,02*	--	97,10
Massa seca das raízes	30	-6,25	0,19*	--	96,38
	60	-5,15	0,17*	--	95,54
	100	-4,74	0,14*	--	93,55
	200	3,90	--	--	--
Massa seca das raízes de reserva	30	-37,48	34,22**	--	99,40
	60	12,56	--	--	--
	100	9,71	--	--	--
	200	7,17	--	--	--
Ano 2021					
Massa seca da folha	20	2,75	0,15**	--	98,85
	30	2,85	0,14**	--	98,83
	45	-5,17	0,28	-0,00072**	98,62
	60	-4,28	0,24	-0,00056**	98,90
	75	-3,44	0,21	-0,00050**	98,67
Massa seca do caule	20	-11,87	0,22**	--	98,48
	30	-11,64	0,22**	--	98,44
	45	-9,71	0,18**	--	98,59
	60	-8,18	0,16**	--	98,39
	75	-8,33	0,15**	--	98,08
Massa seca dos risóforos	20	-0,96	0,17**	--	99,59
	30	-1,38	0,16**	--	99,97
	45	0,40	0,12**	--	99,92
	60	-0,46	0,10**	--	99,63
	75	-0,01	0,09**	--	99,85
Massa seca das raízes	20	-9,23	0,20**	--	96,38
	30	-9,45	0,21**	--	96,71
	45	-7,92	0,19*	--	97,49
	60	-5,78	0,17**	--	98,72
	75	-4,98	0,16**	--	98,92
Massa seca das raízes de reserva	20	20,01	-0,24	0,0038**	98,90
	30	17,96	-0,21	0,0035**	98,90
	45	13,56	-0,007	0,0020**	99,18
	60	17,47	-0,088	0,0016**	98,28
	75	16,83	--	--	--

¹Ajustado ao modelo linear ($\hat{y} = a+bx$); ²Ajustado ao modelo quadrático ($\hat{y} = a+bx+cx^2$); (*) Significativo ao nível de 5%, (**) Significativo ao nível de 1%, pelo teste f.

No segundo experimento, novamente se evidencia o efeito da disponibilidade hídrica sob acúmulo de biomassa em folhas, quando se observa os maiores valores sob os maiores níveis de disponibilidades de água no solo (20 e 30 kPa), sendo que nessas condições as plantas apresentaram crescimento linear ao longo do ciclo. As plantas sob os demais níveis de disponibilidades, apresentaram menor biomassa acumulada e uma tendência de diminuição no acúmulo ao final do ciclo (Figura 5 A2).

Os resultados apresentados são semelhantes aos obtidos na cultura da beterraba por Carvalho et al. (2011), que ao estudar sobre o manejo da irrigação na cultura sob diferentes coberturas mortas, notou que a disponibilidade de água no solo provocou diminuição no acúmulo de massa na parte aérea da beterraba. Comportamento similar também foi observado por Marouelli e Silva (2012), que em estudos com pimentão, notou diminuição no acúmulo de massas na planta com a diminuição da disponibilidade de água no solo.

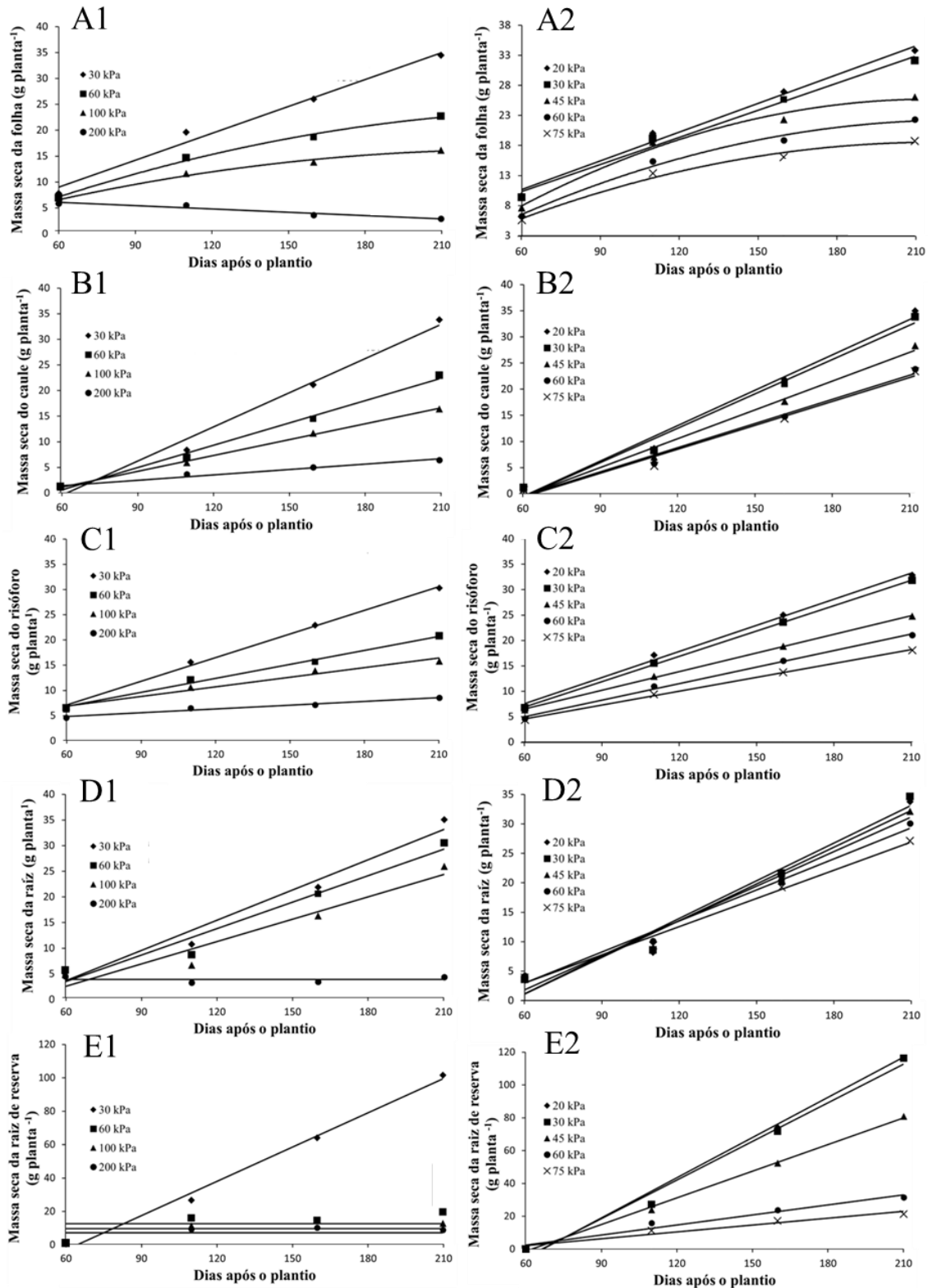


Figura 5. Massa seca de folha (A1 e A2), caule (B1 e B2), risóforo (C1 e C2), raiz (D1 e D2) e raiz tuberosa (E1 e E2) em plantas de yacon, submetidas a diferentes tensões de água no solo, em dois anos de cultivo. Alegre-ES, 2020/21. * Os números ao lado das letras identificam o ano de realização do experimento, sendo (1) primeiro experimento (2020) e (2) segundo experimento (2021). Os Coeficientes dos modelos ajustados encontram-se na tabela 2.

Para a massa seca do caule e dos risóforos, em ambos os experimentos, todos os níveis de disponibilidade hídrica testados apresentaram comportamento linear crescente, no entanto, nota-se maior acúmulo nas plantas submetidas as maiores disponibilidade de água no solo (Figura 5 B1 e B2). Novamente, no primeiro experimento, com a aplicação de níveis de disponibilidade de água em amplitudes maiores, fica mais evidente os efeitos da restrição hídrica no acúmulo da biomassa em caules e risóforo. No primeiro experimento ao se comparar a tensão de 200 com a de 30 kPa as plantas acumularam no decorrer do ciclo 6,65 e 8,56 g planta⁻¹ de massa seca no caule e no risóforo, respectivamente para a tensão de 200 kPa e no mesmo ano 32,74 e 30,59 gramas de massa seca no caule e no risóforo, respectivamente para a tensão de 30 kPa, uma diminuição de 80% no acúmulo para o caule e aproximadamente 70 % de diminuição para os risóforos. O fato dos risóforos terem sofrido menos em comparação aos caules pode remeter a uma estratégia de sobrevivência da yacon, buscando produzir órgãos reprodutivos mesmo sob condições de estresse. Vale salientar que a planta de yacon é considerada perene, podendo brotar novamente dos risóforos produzidos no ciclo anterior (GRAU e REA 1997)

Com exceção disponibilidade hídrica da tensão de 200 kPa, no primeiro experimento, onde a massa seca das raízes foram severamente afetadas, apresentando os menores valores e sem ganhos ao longo do ciclo, de modo geral, o comportamento para o acúmulo de biomassa em raízes das plantas de yacon, foram semelhantes (linearmente crescente ao longo do ciclo), sendo que sob as maiores disponibilidades hídricas as plantas acumularam mais biomassa de raízes (Figura 5 D1). No segundo experimento o comportamento se repetiu, no entanto, com menor diferença entre os níveis aplicados, reflexo da menor amplitude testada, mesmo assim, percebe-se que nas maiores disponibilidades de água no solo se tem maiores acúmulo de biomassa seca de raízes de absorção (Figura 5 D2).

O fato de as raízes só terem seu desenvolvimento afetado em baixos níveis de disponibilidades hídricas, pode ser explicado pelo acúmulo de ácido abscísico (ABA), resposta comum de plantas submetidas à estresse hídrico retardando o efeito sobre as raízes. Tal comportamento foi observado na cultura do milho por Lea et al. (1995), em que plantas de milho cultivadas em campo e em laboratório, o acúmulo de ABA nas raízes causou menor desenvolvimento da parte aérea e manteve o desenvolvimento do sistema radicular. O ABA pode desempenhar papel importante na comunicação entre as raízes e parte aérea em plantas submetidas a estresse hídrico (DAVIES e ZHANG 1991).

Com relação a biomassa em raízes tuberosas, no primeiro experimento, somente as plantas crescendo sob a disponibilidade hídrica da tensão de 30 kPa apresentaram o acúmulo, que foi linearmente crescente ao longo do ciclo, atingindo valores estimados de 99,43 g planta⁻¹, ao final do ciclo (210 DAP). As demais plantas apresentaram pouca biomassa em raízes de reserva e sem aumento ao longo do ciclo, demonstrando que, a partir da disponibilidade hídrica da tensão de 60 kPa, já se nota efeitos mais severos sob o crescimento de raízes de reserva (Figura 5 E1).

No segundo experimento, observou acúmulo de biomassa em raízes tuberosas, linear e crescente em todas as plantas, sendo que nas que cresceram sob os maiores níveis disponibilidades hídricas os valores acumulados foram maiores, com destaque para as plantas sob as tensões de 20 e 30 kPa, que atingiram valores bem próximos, estimado em aproximadamente 112,66 g planta⁻¹, ao final do ciclo (210 DAP). Também pode se perceber que, a partir da tensão de 60 kPa, apesar de haver algum ganho de massa nas raízes de reserva, esses são bem sutis, e ao final do ciclo, o acúmulo total é bem inferior ao que foi notado nas maiores disponibilidades hídricas, confirmando os efeitos mais severos sob o crescimento de raízes de reserva, com as tensões acima de 60 kPa (Figura 5 E2).

Analisando a influência da disponibilidade de água no solo (em função das tensões aplicadas) sobre a produção total de raízes tuberosas frescas (que é o parâmetro de produção comercial da cultura) nota-se que a yacon expressa sua maior capacidade produtiva perto da disponibilidade hídrica da tensão de 10 kPa, tensão adotada como máxima capacidade de retenção de água do solo, apresentando diminuição linear com a diminuição da disponibilidade de água no solo. De modo geral, a produção variou de 1156,3 a 135,2 g planta⁻¹, entre o maior e o menor nível de disponibilidade hídrica aplicado (tensões de 20 e 75 kPa, respectivamente) produzindo 16,05% a menos a cada 10 kPa de aumento na tensão de água no solo. Também cabe ressaltar que, aparentemente, a yacon suportaria uma diminuição da disponibilidade de água sem sofrer queda significativa na produção, tendo em vista que a produção apresentada nas condições de 20 e 30 kPa foram bem semelhantes (Figura 6).

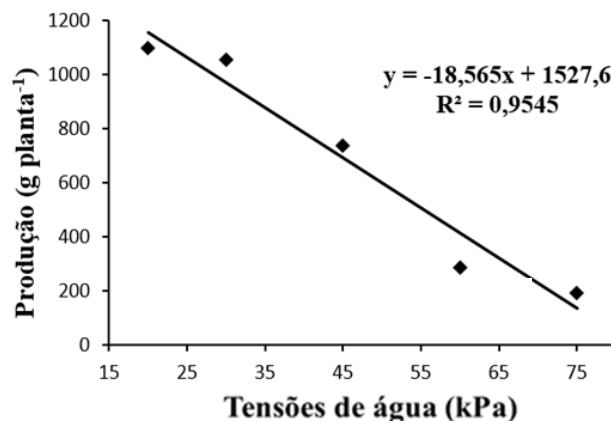


Figura 6. Produção total de raízes tuberosas frescas em plantas de yacon, submetidas a diferentes tensões de água no solo, no segundo ano. Alegre-ES, 2021.

Os níveis de disponibilidade hídrica também influenciaram nas classes das raízes tuberosas produzidas pela yacon. O percentual de raízes tuberosas na classe 3A (raízes acima de 250 g) diminuiu (na ordem de 10%) com a aplicação das maiores restrições hídricas (60 e 75 kPa). Queda também observada na classe 2A (na ordem entre 8 e 10%), com a aplicação da tensão de 45 kPa (Figura 7). Ou seja, a menor disponibilidade de água no solo, além de provocar diminuição na produção total (Figura 6), também provoca perda na qualidade das raízes produzidas diminuindo a quantidade de raízes nas classes 3A e 2A, que são raízes maiores. Essa queda implica em perdas de rendimento econômico para a cultura, tendo em vista que o valor das raízes na 3A pode ser até quatro vezes superior ao valor da classificação 1A. E na classe 2A, até o dobro (Oliveira, 2016). Dessa forma, condições em que haja indisponibilidade de água no solo, já considerando os efeitos a partir de 45 kPa, como tensão crítica, poderá haver, também, perda de valor agregado da produção de raízes tuberosas de yacon.

Comportamento semelhante foi observado na cultura da batata, onde Bezerra et al. (1995) observaram que os melhores números de tubérculos comerciais, a produtividade total e a comercial foram obtidas nos tratamentos com tensão de 20 kPa, sendo considerado que as plantas não teriam sofrido déficit hídrico nos estágios de tuberização (formação e enchimento de tubérculos). Já nos trabalhos realizados por Lima Junior et al. (2012) e Silva et al. (2015) na cultura da cenoura e beterraba, respectivamente, os melhores resultados foram obtidos com o manejo da irrigação considerando a tensão máxima para irrigar de 15 kPa.

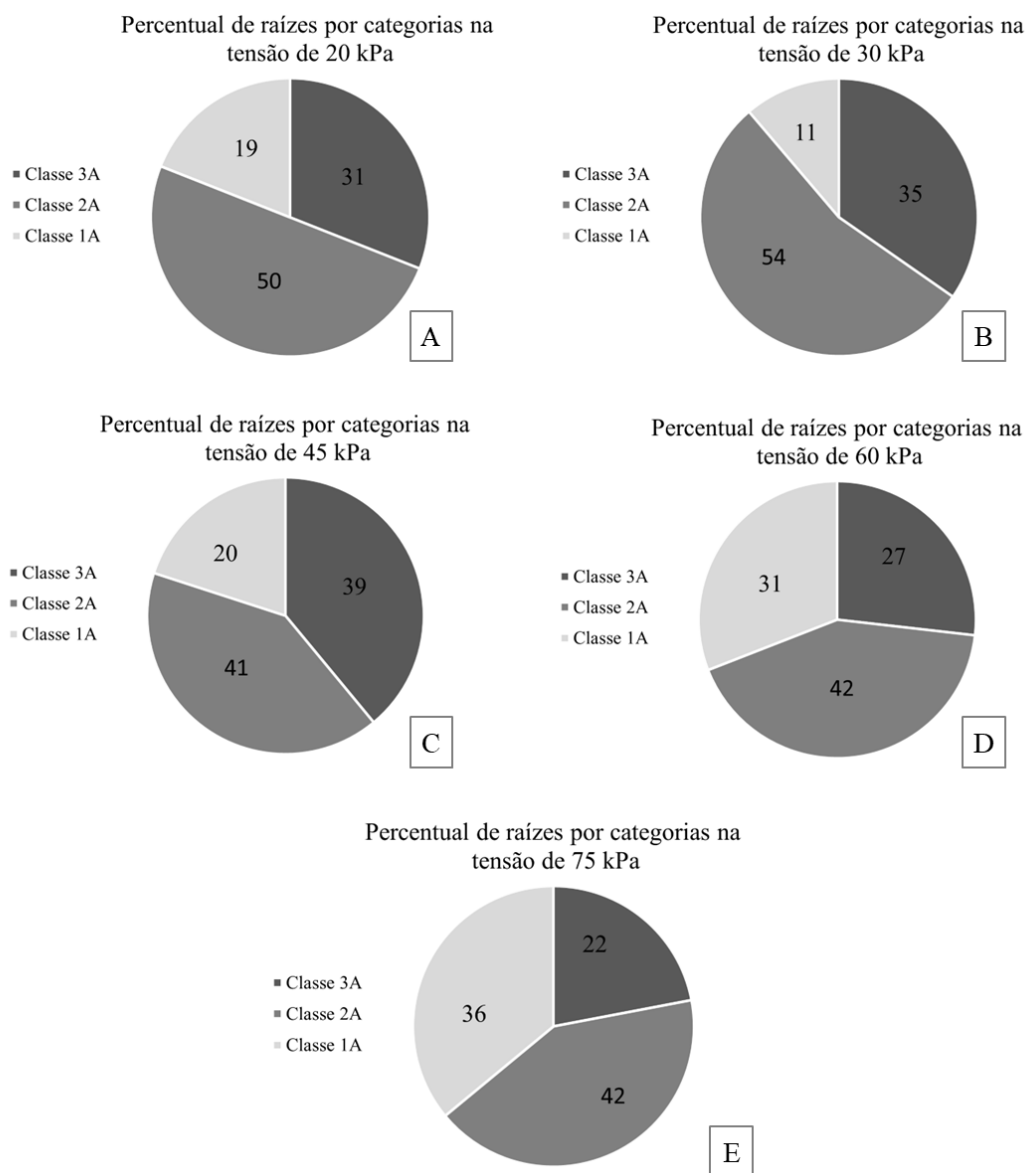


Figura 7. Percentual de raízes tuberosas frescas de yacon produzidas em cada categoria comercial (1A, 2A e 3A), em função das tensões de água no solo no segundo ano de cultivo. Alegre-ES, 2021. As letras ao lado de cada gráfico representam as tensões de água no solo aplicada, sendo: (A) 20, (B) 30, (C) 45, (D) 60 e (E) 75 kPa.

De um modo geral, as plantas de yacon submetidas aos maiores níveis de disponibilidade hídrica apresentaram melhores resultados para todas as variáveis estudadas, em contrapartida, quando a água se menos disponível no solo a yacon apresenta diminuição nas variáveis produtivas, de crescimento e de acúmulo de fotoassimilados nas partes seccionadas da planta, provavelmente em decorrência do fechamento estomático resultante do declínio de água na folha.

Quanto a demanda hídrica da yacon, a maior disponibilidade hídrica testada (20 kPa) apresentou um consumo estimado de aproximadamente 924 mm ao final do ciclo, sendo que a idade cronológica dos 160 DAP foi a que mais demandou água em todos os níveis de disponibilidade hídrica testados durante o segundo experimento, chegando a consumir 276,1 mm (com tensão de 20kPa) e 246,3 mm (30 kPa) (Tabela 4), comprovando a maior demanda hídrica da yacon durante a fase de maior acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas, reforçando a importância do suprimento ideal de água nessa fase do ciclo.

De maneira geral, quanto maior a disponibilidade hídrica maior foi a quantidade total de água aplicada. Comportamento similar ao observado por Sá et al. (2005) na cultura do tomate e Lima Junior et al. (2012) na cultura da cenoura. As lâminas totais aplicadas foram maiores nos tratamentos com valores de tensões mais baixas por apresentarem maiores frequências de irrigação ao longo do ciclo da cultura e o sistema foi acionado mais vezes, porém, permanecendo ligado por menos tempo.

Tabela 4. Tensões de água no solo na profundidade de 0,30 m, lâminas aplicadas em cada época e lâmina total aplicada durante o segundo experimento. Alegre-ES, 2021.

Tensões de Água (kPa)	Lâminas (mm)				
	60 DAP	110 DAP	160 DAP	210 DAP	Total
20	151,0	241,1	276,1	256,7	924,27
30	145,4	204,4	246,3	245,3	841,4
45	88,0	156,8	194,4	169,2	611,4
60	55,7	126,3	155,7	145,3	483,2
75	42,5	104,4	142,2	142,5	431,9

A eficiência de uso da água (EUA), também mensurada no segundo experimento, apresentou ajuste cúbico, apresentando maior valor na tensão estimada de 31,4 kPa, sendo de $2,65 \text{ kg m}^{-3}$, ou seja, para produção de 1 kg de yacon foram necessários 377 litros de água (Figura 7). Resultado semelhante foi encontrado por Nogales et al. (2002) na cultura da batata, onde a EUA variou entre 2,0 e $2,9 \text{ kg m}^{-3}$. Esse resultado demonstra que quando submetida em torno do nível de disponibilidade hídrica da tensão de 30 kPa a yacon apresenta maior eficiência no uso da água, dessa forma, considerando a pouca diferença apresentada nas demais variáveis entre a tensão de 20 e 30 kPa, talvez seja mais viável para o produtor a manutenção disponibilidade hídrica em torno dos 30 kPa, visando a economia de água e diminuição de custos operacionais.

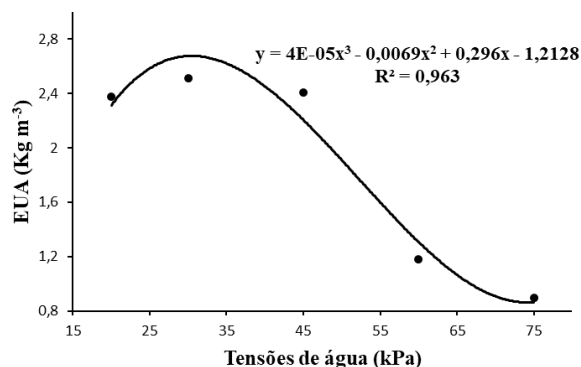


Figura 7. Eficiência na utilização da água no segundo ano de cultivo em plantas de yacon submetidas a diferentes tensões de água no solo. Alegre-ES, 2021.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento e produção da yacon diminui à medida em que se diminui a disponibilidade hídrica.

A maior demanda hídrica apresentada pela da yacon foi na idade cronológica dos 160 dias após o plantio, independentemente do nível de disponibilidade hídrica aplicado.

A maior eficiência no uso da água foi observada com a tensão de 30 kPa, com um consumo estimado de 841,4 mm de água durante o ciclo, apontando que essa pode ser a tensão a ser observada no manejo da irrigação, visando a melhor relação custo-benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJUM, S. A., XIE, X., WANG, L. C., SALEEM, M. F., MAN, C., LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Lesotho, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.

BERNARDO, S; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 625p, 2007.

BERNIER, J., ATLIN, G. N., SERRAJ, R., KUMAR, A., SPANER, D. Breeding upland rice for drought resistance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.

BEZERRA, F. M. L. **Coefficientes de cultura e efeitos de déficits hídricos nos diferentes estádios fenológicos sobre a produção da batata.** 1995. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) -Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" 1995.

CARVALHO, D. F. D., OLIVEIRA NETO, D. H. D., RIBEIRO, R. D. L., GUERRA, J. G., ROUWS, J. R. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 269-277, 2011.

CARVALHO, K. S.; KOETZ, M.; POLIZEL, A. C.; CABRAL, C. E. A. E CRYSTHIAN, R. M. DA S. Cultivo de pimentão vermelho submetido às tensões de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p.659-667, 2013.

CLAY, D. E., TROOIJEN, T. P. Understanding soil water and yield variability in precision farming. *Practical Mathematics for Precision Farming*, p. 136–147, 2017.

DA MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v.18, n.1, p. 9-21. 2006.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in rying soil. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, Palo Alto, p.55-76, 1991

DE ALMEIDA PAULA, H. A.; ABRANCHES, M. V.; DE LUCES FORTES FERREIRA, C. L. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A food with multiple functions. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. V. 55, p. 32–40, 2015.

DE SÁ, N. S., PEREIRA, G. M., ALVARENGA, M. A., MATTIOLI, W., CARVALHO, J. D. A. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 341-347, 2005

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina grande: UFPB, 306 p. 1994.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p. 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia** [online]. V. 38(2), p. 109-112, 2014.

GONÇALVES, M. S; RIBEIRO, W. R; PINHEIRO, A. A; MARTINS, C. A; CÓSER, A.; REIS, E. F; GARCIA, G. O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.23, n.4, p.1-12, 2018.

GRAU, A.; REA, J. Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. (Eds.). **Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha,**

maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: IPK, Gatersleben / IPGRI, p. 199- 256, 1997.

LEA, P.J.; AL-SULAIT, A.; PALMER, S.; DAVIE, W.J. Absorção e metabolismo de nitrogênio sobre estresse hídrico. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995. Belo Horizonte, MG. **Anais...** EMBRAPA/CNPMS, 1995. v.1, p.163-194, 1995.

LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOFF, L. O.; SILVA, W. G.; VILAS BOAS, R. C.; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.16, n.5, p.514–520, 2012

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. Brasília: Embrapa Hortaliças, (Circular Técnica Nº 101). 19p, 2012.

MARQUES, C., TOAZZA, C. E. B., SARI, R., MITTERER-DALTOÉ, M. L., DO AMARAL, W., MASSON, M. L. Long-term storage of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice: Phytochemical profile, in vitro prebiotic potential and discriminant bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 41, p. 100970, 2022.

MENDES, T. P. **Marcha de absorção de nutrientes em yacon**. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019.

NOGALES, A. P.; RIVERA, R. C.; DUARTE, S. N. Lâminas de irrigação para produção de batata-semente em plântulas propagadas in vitro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 409-413, 2002.

PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, E. A.; ELEUTÉRIO, M. M.; REIS, E. D.; SANTOS, A. D. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 12(1), p. 151-158. 2004.

RIBEIRO, W. R. **Manejo da umidade do solo por Reflectometria no Domínio do Tempo na cultura do cafeeiro conilon clonal**. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, UFES, Alegre, ES, 2019.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), p. 60, 2003.

SILVA, A. O., SILVA, Ê. F., BASSOI, L. H., KLAR, A. E. Desenvolvimento de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 12-18, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. Artmed Editora, V. 6, 2021.

TORRECILLAS, A., ALARCÓN, J. J., DOMINGO, R., PLANES, J., SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. **Plant Science**, London, v. 118, n. 2, p. 135-143, 1996.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 44, n. 5, p. 892-897, 1980.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; SOUZA, R. J.; CONSONI, R. Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.117-124, 2011.

WANG, Q.; HOU, F.; DONG, S.; XIE, B.; LI, A.; ZHANG, H.; ZHANG, L. Effects of shading on the photosynthetic capacity, endogenous hormones and root yield in purple-fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Plant Growth Regulation**, v. 72, n.2, p. 113-122, 2014.