

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

AMANDA DUTRA DE VARGAS

ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O CULTIVO DE YACON

ALEGRE – ES

2021

AMANDA DUTRA DE VARGAS

ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O CULTIVO DE YACON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira.

Coorientadores: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira e Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral.

ALEGRE – ES

2021

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

V297a Vargas, Amanda Dutra de, 1995-
Adubação potássica para o cultivo de yacon / Amanda Dutra de Vargas. - 2021.
51 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz de Oliveira.
Coorientadores: Luciano José Quintão Teixeira, José Francisco Teixeira do Amaral.
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Plantas - Nutrição. 2. Potássio. 3. Alimentos Funcionais. 4. Produtividade. I. Oliveira, Fábio Luiz de. II. Teixeira, Luciano José Quintão. III. Amaral, José Francisco Teixeira do. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

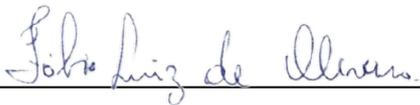
AMANDA DUTRA DE VARGAS

ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O CULTIVO DE YACON

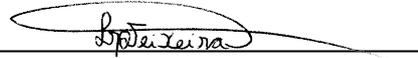
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aprovada em 25 de Fevereiro de 2021

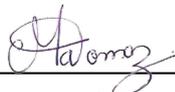
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador
Membro externo ao programa



Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro interno



Prof. Dr. Diego Mathias Natal da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais
Membro externo

Aos meus amados pais, Edimar e Leida,
por todo incentivo, sempre.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por suas bênçãos, por me sustentar e permitir minha caminhada até aqui.

Aos meus pais, Edimar Vargas e Leida Dutra de Carvalho, por toda atenção, compreensão, confiança e, principalmente, por todo amor.

À minha irmã, Patricia Dutra de Vargas, por toda ajuda no experimento, principalmente no início. Quando não havia ninguém, você estava lá.

Ao meu namorado, Danilo da Silva Campos, que mesmo em seus momentos de descanso, nunca mediu esforços para me ajudar. Seu apoio, amor, incentivo e companheirismo foram fundamentais.

As minhas primas, Crislany Dutra de Carvalho e Thais Dutra de Carvalho, por toda ajuda em campo, sempre que precisei.

Aos amigos e colegas que o mestrado me apresentou, em especial a Liana Niyireth Valero Carvajal, que sempre esteve presente em minha vida, pela ajuda no plantio e por todas as tardes de café.

Aos amigos Thayllon de Assis Alves e Vítor Vargas Schwan, que já me socorreram em alguns momentos de desespero.

Aos companheiros do Laboratório de Análises Vegetais, Lidiane dos Santos Gomes Oliveira, Tiago Pacheco Mendes, Mateus Oliveira Cabral, Ariany das Graças Teixeira, Joab Luhan Ferreira Pedrosa e Magno do Carmo Parajara, que de alguma forma ajudaram e contribuíram para que esse trabalho fosse realizado. Não teria chegado até aqui sem a ajuda de vocês!

Ao Renan de Souza Ferreira, que disponibilizou sua área para a instalação do experimento e sempre foi muito solícito em todas as etapas.

Ao Danilo Andrade Santos, pela ajuda em todas as análises estatísticas. Com certeza sua ajuda foi imprescindível.

Ao meu orientador, professor Fabio Luiz de Oliveira, pela parceria, paciência, ensinamentos e orientação.

Aos professores Luciano José Quintão Teixeira e José Francisco Teixeira do Amaral por toda atenção, colaboração e coorientação.

Aos demais membros da banca, professor Marcelo Antonio Tomaz e Diego Mathias Natal da Silva, pela disponibilidade, sugestões e contribuições.

Aos técnicos de laboratórios, Raphael Canal Maximino, pela ajuda com as análises de textura, e Larissa Ataíde Siqueira pela ajuda nas análises nutricionais.

À Universidade Federal do Espírito Santo e a todos os professores que passaram por minha vida, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, ao CNPq, a CAPES e a FAPES por tornarem possível a realização desse trabalho.

A todos os amigos, que mesmo não citados, fizeram parte da minha trajetória.

“Ninguém cresce sozinho, sempre é preciso um olhar de apoio, uma palavra de incentivo, um gesto de compreensão, uma atitude de amor”.

“Por vezes, sentimos que aquilo que fazemos não é, senão, uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

VARGAS, Amanda Dutra de. **Adubação potássica para o cultivo de yacon**, 2021. (Dissertação - Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2021.

RESUMO GERAL

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta da família Asteraceae e originária da região Andina, que apresenta muitas propriedades nutracêuticas e medicinais. O interesse pela planta surgiu devido ao alto teor de frutooligossacarídeos (FOS) que suas raízes possuem, tornando-a um alimento funcional. Igualmente às outras culturas, o estudo das condições ideais para seu cultivo é essencial e, desse modo, observa-se a importância de se obter informações sobre a nutrição mineral da yacon. Como o potássio é um nutriente mineral considerado essencial para o crescimento e desenvolvimento de todas as plantas e um dos nutrientes mais acumulados nessa espécie, o objetivo do presente estudo foi avaliar diferentes doses de adubação potássica nas características fitotécnicas e físico-químicas da yacon. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com 4 repetições por tratamento, que constituem-se de 4 diferentes doses de adubação potássica: 178,7 kg.ha⁻¹; 357,4 kg.ha⁻¹; 536,1 kg.ha⁻¹; 714,8 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl); e uma testemunha: solo sem adubação. A adubação potássica conferiu melhorias nas características químicas (maiores teores de sólidos solúveis e menor acidez) e físicas (menor dureza, índice de mastigabilidade, coesividade e adesividade) das raízes tuberosas da yacon, trazendo maior qualidade ao produto final. A dose de 357,4 kg.ha⁻¹ de KCl foi a que apresentou a maior eficiência agrônômica para o cultivo de yacon, podendo proporcionar a maior eficiência econômica por produzir maiores quantidades de raízes nas classes mais valorizadas no mercado.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*; frutooligossacarídeos; nutrição mineral; potássio.

VARGAS, Amanda Dutra de. **Potassium fertilization for the cultivation of yacon**, 2021. (Dissertation - Master in Agronomy) - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2021.

GENERAL ABSTRACT

The yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a plant of the Asteraceae family and comes from the Andean region, which has many nutraceutical and medicinal properties. The interest in the plant aroused due to the high content of fructooligosaccharides (FOS) presented in its roots, making yacon a functional food. Like other crops, the study of the ideal conditions for their cultivation is essential and, thus, the importance of obtaining information about the mineral nutrition of yacon is observed. As potassium is a mineral nutrient considered essential for the growth and development of all plants and one of the most accumulated nutrients in this species, the objective of the present study was to evaluate different doses of potassium fertilization in the phytotechnical and physicochemical characteristics of yacon. The experimental design used was randomized blocks (DBC), with 4 replicates per treatment, which consist of 4 different doses of potassium fertilization: 178.7 kg.ha⁻¹; 357.4 kg.ha⁻¹; 536.1 kg.ha⁻¹; 714.8 kg.ha⁻¹ of potassium chloride (KCl); and the witness: soil without fertilization. Potassium fertilization improved the chemical characteristics (higher levels of soluble solids and less acidity) and physical characteristics (less hardness, chewability, cohesiveness and adhesiveness) of yacon's tuberous roots, bringing higher quality to the final product. Since the dose of 357.4 kg.ha⁻¹ of KCl was the one that presented the highest agronomic efficiency for the cultivation of yacon, being able to provide the greatest economic efficiency by producing larger quantities of roots in the most valued classes in the market.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*; fructooligosaccharides; mineral nutrition; potassium.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
ARTIGO 1 – DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE YACON SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	14
RESUMO	14
ABSTRACT	15
INTRODUÇÃO.....	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ARTIGO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE YACON CULTIVADAS COM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA	32
RESUMO	32
ABSTRACT	33
INTRODUÇÃO.....	34
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

INTRODUÇÃO GERAL

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta originária dos Andes e sua utilização se dá principalmente para alimentação e fins medicinais (BORGES et al., 2012; SANTOS et al., 2017). É uma espécie pertencente à família Asteraceae, cujo gênero é *Smallanthus* e, além do nome científico já apresentado, também possui alguns sinônimos, como *Polymnia sonchifolia* e *Polymnia edulis* (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003). É cultivada em diversos países da América do Sul, especialmente na Colômbia, Bolívia, Peru, Equador e parte da Argentina. Na região Andina, o cultivo surgiu pela antiga civilização Inca (MOURA et al., 2012).

As raízes tuberosas de yacon são ricas em frutooligossacarídeos (FOS), o que as diferenciam das demais raízes tuberosas, que em sua maioria possuem como carboidrato de reserva o amido e, por essa razão, é considerado um alimento funcional. Os FOS são açúcares que não acrescentam calorias ao corpo humano, sendo fermentados no colón, resultando em um estímulo ao crescimento de bifidobactérias, proporcionando diversos efeitos benéficos à saúde (OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011; CAETANO et al., 2016; SILVA et al., 2017).

Para a obtenção de um cultivo em condições ideais, é muito importante ter uma nutrição mineral equilibrada, com macro e micronutrientes em proporções ajustadas, pois estes nutrientes têm importante função na formação das raízes, alterando tanto a produção quanto a qualidade das mesmas (GIRACCA; NUNES, 2016). Segundo Hai e Kubota (2001), a maior parte da massa seca acumulada em plantas durante seu desenvolvimento, por volta de 90%, é resultante do processo fotossintético; o restante é proveniente da absorção dos nutrientes pelas plantas. Esse processo de biossíntese pode ser influenciado pela eficiência de utilização de potássio (WANG et al., 2015).

O potássio é um nutriente mineral considerado essencial para o crescimento e desenvolvimento de todas as plantas, e de acordo com a extração de nutrientes por raízes tuberosas, é o primeiro a ser retirado, devido as suas mais variadas funções nos processos metabólicos das plantas (FILGUEIRA, 2003). Dentre as atribuições principais do potássio pode-se citar o mecanismo de abertura e fechamento de estômatos e a permeabilidade presente nas membranas celulares.

A deficiência desse nutriente ocasiona menor fluxo de gás carbônico devido ao efeito nos estômatos, tornando a sua abertura irregular, refletindo diretamente na taxa fotossintética, reduzindo-a (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2017). Ele também

é importante na translocação de fotoassimilados da parte aérea para as raízes, acelerando a atividade cambial, neste caso em raízes tuberosas e, como consequência, há um aumento em seu tamanho (FILGUEIRA, 2003). Além de elevar a distribuição dos fotossimilados pela planta, também influencia no teor de sacarose e na atividade enzimática durante o desenvolvimento das raízes (LIU et al., 2013).

Diante do exposto, se faz necessário o empenho em novas pesquisas relacionadas ao cultivo de yacon, visto que tem aumentado o interesse pela utilização dessa cultura devido a sua atividade funcional e prebiótica, sobretudo devido aos seus benefícios à saúde humana. A otimização de utilização do potássio será uma importante ferramenta no manejo da cultura, visto que é um nutriente que está diretamente relacionado à qualidade final de raízes tuberosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, J. T. da S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D. de; VIDIGAL, J. G.; SOUSA E SILVA, N. A. de; CALIMAN, F. R. B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. **Scientia Amazonia**, v.1, n. 3, p. 3–16, 2012.

CAETANO, B. F. R.; MOURA, N. A.; ALMEIDA, A. P. S.; DIAS, M. C.; SIVIERI, K.; BARBISAN, L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: Healthpromoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 7, p. 436, 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2003.

GIRACCA, E. M. N.; NUNES, J. L. S. **Fertilizantes: fósforo (P)**. AgroLink, 2016.

HAI, M. R., KUBOTA, F. Changes in photosynthetic rate, photorespiration rate and quantum yield of photosystem in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.), Leaves with ageing and their cultivaral difference. **Science Bulletin of the Faculty of Agriculture Kyushu**, v. 56, p. 73-81, 2001.

LIU, H.; SHI, C.; ZHANG, H.; WANG, Z.; CHAI, S. Effects of potassium on yield, photosynthate distribution, enzymes' activity and ABA content in storage roots of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, p. 735-743, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 638p. 2006.

MOURA, N. A. de; CAETANO, B. F. R.; SIVIERI, K.; URBANO, L. H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M. A. M.; BARBISAN, L. F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 8, p. 2902- 2910, 2012.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 40-46, 2011.

SANTOS, G. C. S.; MENEZES, K. R. P.; OLIVEIRA, O. M.; SANCHES, A. G.; OLIVEIRA, A. R. G.; CORDEIRO, C. A. M. Influência da aplicação exógena do ácido salicílico e de cloreto de cálcio como alternativas na manutenção da qualidade e no prolongamento da vida útil das raízes de batata-doce. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 13, p. 56-72, 2017.

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

SILVA, M. F. G.; DIONÍSIO, A. P.; CARIOCA, A. A. F.; ADRIANO, L. S.; PINTO, C. O.; ABREU, F. A. P.; WURLITZER, N.; ARAÚJO, I. M.; GARRUTI, D. dos S.; PONTES, D. F. Yacon syrup: Food applications and impact on satiety in healthy volunteers. **Food Research International**, v. 100, p. 460–467, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 858 p.

WANG, J. D.; WANG, H.; ZHANG, Y.; ZHOU, J.; CHEN, X. Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. **Field Crops Research**, v. 170, p. 76–82, 2015.

ARTIGO 1 – DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE YACON SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO

Em razão do aumento do interesse pelo consumo das raízes de yacon, há a necessidade de se desenvolver pesquisas acerca de seu cultivo. Um dos pontos importantes a serem estudados é a nutrição mineral, pois as informações acerca desse assunto ainda são escassas para essa espécie. Nesse contexto, conhecer a influência do potássio nessa cultura é de grande importância para a expansão de seu cultivo, tendo em vista que esse mineral é considerado essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas, sobretudo as acumuladoras de reservas em órgãos subterrâneos, devido as suas mais variadas funções nos processos de transporte de metabólitos. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a produtividade da yacon em função de diferentes doses de adubação potássica. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições e 5 tratamentos: 178,7 kg.ha⁻¹; 357,4 kg.ha⁻¹; 536,1 kg.ha⁻¹; 714,8 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl), correspondentes a 50 %; 100%; 150% e 200% do valor de referência e uma testemunha (solo sem adubação). Foram avaliadas características morfológicas, fisiológicas e produtivas, a partir das doses aplicadas. Os resultados apontaram que a aplicação da dose de 100% (357,4 kg.ha⁻¹ de KCl) foi a que apresentou a maior eficiência agrônômica para o cultivo de yacon, podendo proporcionar a maior eficiência econômica por produzir maiores quantidades de raízes nas classes mais valorizadas no mercado.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*; prebióticos; potássio; produtividade.

YACON DEVELOPMENT AND PRODUCTION UNDER DIFFERENT DOSES OF POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT

Due to the increased interest in the consumption of yacon roots, there is a need to develop research on its cultivation. One of the important points to be studied is mineral nutrition, as information on this subject is still scarce for this species. In this context, knowing the influence of potassium in this culture is of great importance for the expansion of its cultivation, considering that this mineral considered essential for the growth and development of plants, above all the accumulators of reserves in underground organs, due to their more varied functions in the metabolic transport processes. Thus, the objective of the work was to evaluate the development and productivity of yacon in terms of different doses of potassium fertilization. The experimental design used was randomized blocks, with 4 replications and 5 treatments: 178.7 kg.ha⁻¹; 357.4 kg.ha⁻¹; 536.1 kg.ha⁻¹; 714.8 kg.ha⁻¹ of potassium chloride (KCl), corresponding to 50%; 100%; 150% and 200% of the reference value and a witness (soil without fertilization). Morphological, physiological and productive characteristics were evaluated from the applied doses. The results showed that the application of the 100% dose (357.4 kg.ha⁻¹ of KCl) was the one that presented the highest agronomic efficiency for the cultivation of yacon, being able to provide the greatest economic efficiency by producing larger amounts of roots in the most valued in the market.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*; prebiotics; potassium; productivity.

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, há uma pauta sobre as adversidades relacionadas à saúde humana e, paralelamente, a discussão sobre alimentos e nutrientes com potencial de proporcionar benefícios a nossa saúde vem tomando forma (FREITAS; JACKIX, 2005).

Smallanthus sonchifolius, comumente conhecida como yacon, é uma planta nativa da região dos Andes, localizada na América do Sul (CAETANO et al. 2016). A maioria das raízes tuberosas armazena energia na forma de amido, o que não acontece com a yacon, que armazena carboidratos na forma de frutanos, principalmente como frutooligosacarídeos (FOS), que apresentam características funcionais e prebióticas (CAMPOS et al., 2012).

Diversos pontos positivos estão ligados ao consumo de suas raízes, por exemplo, o controle de diferentes doenças como diabetes (VALENTOVÁ; SERSEN; ULRICHOVÁ, 2005; GENTA et al., 2010); arteriosclerose (VALENTOVÁ et al., 2003); controle da pressão e dos níveis de colesterol (VIGNALE; GURNI, 2005); fortalecimento do sistema imunológico (SANTANA; CARDOSO, 2008) e câncer de cólon (MOURA et al., 2012). Além dos benefícios atribuídos ao consumo das raízes, as flores e folhas também apresentam grande potencial, pois são fonte de compostos fenólicos e flavonoides, que apresentam propriedades antioxidantes consideráveis (ANDRADE et al., 2014).

A yacon foi introduzida no Brasil por imigrantes japoneses, por volta dos anos 90, no estado de São Paulo, porém somente nos anos 2000 é que houve um aumento no consumo da raiz, que popularmente era chamada de batata diet ou batata yacon, como é conhecida até os dias atuais (OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011). No Espírito Santo, a região Serrana do estado é que apresenta maior destaque, com o município de Santa Maria de Jetibá com maior escala de produção.

Devido ao interesse progressivo pelo consumo da yacon em razão dos efeitos medicinais atribuídos a ela, a necessidade de aumentar os campos produtivos é imprescindível. Para tal, pesquisas relacionadas ao manejo dessa cultura são necessárias, visto que as informações sobre seu cultivo ainda são escassas. Um dos pontos mais importantes acerca do plantio de todas as culturas é a nutrição mineral e, desta forma, o estudo de macro e micronutrientes em proporções ajustadas, pois estes têm importante função na formação das raízes, alterando tanto a produção quanto a qualidade das mesmas.

O potássio é um nutriente mineral considerado essencial para o crescimento e desenvolvimento de todas as plantas e de acordo com a extração de nutrientes por raízes tuberosas, é o primeiro a ser retirado, devido as suas mais variadas funções nos processos metabólicos das plantas (FILGUEIRA, 2003). Por ser um nutriente muito requerido por grande parte das plantas cultivadas, a reposição de potássio no solo é bastante necessária, para que seja possível manter a produtividade de forma economicamente viável nos sistemas agrícolas brasileiros (BENITES et al., 2010).

O manejo correto do uso de adubos potássicos, como a fonte, a época, o modo de aplicação e as doses a serem utilizadas é um importante alvo de estudo e deve levar em conta alguns fatores, como a quantidade demanda pela cultura e as perdas potenciais (YAMADA; ROBERTS, 2005). Em vista disso, é indispensável o estudo sobre doses ideais de fertilizantes, visando estabelecer a demanda específica de cada cultura para um desenvolvimento e estabelecimento ideal em campo. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de diferentes doses de adubação potássica no desenvolvimento e produtividade da yacon.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em uma propriedade rural localizada no distrito de Celina, no município de Alegre, estado do Espírito Santo, que apresenta altitude de 680 m, latitude de 20° 47' 1" sul e longitude de 41° 36' 56" oeste. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é tropical úmido (PEZZOPANE et al., 2012).

A temperatura média, umidade relativa do ar e precipitação foram obtidas por meio de estações meteorológicas automáticas do INCAPER em Iúna/ES (20° 21' de latitude Sul, 41° 33' de longitude Oeste e 758 m de altitude), que é a mais próxima do local de cultivo. Durante o período experimental (março a outubro de 2020) a precipitação acumulada foi de 638 mm, com média de temperatura máxima de 21,43 °C e média de temperatura mínima de 17,79 °C (Figura 1).

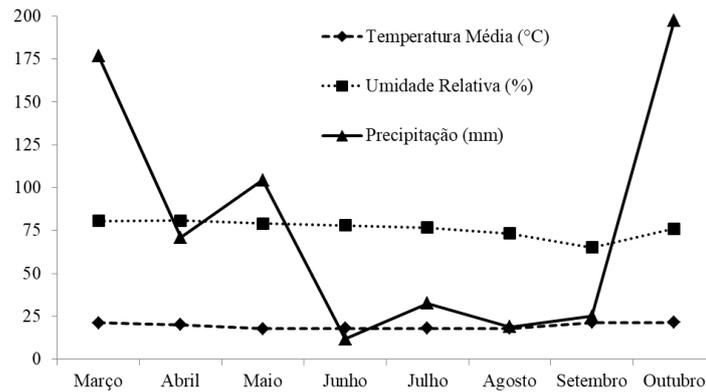


Figura 1. Médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação durante o período experimental. Alegre-ES, 2020. Fonte: Incaper (2021).

Amostras do solo foram submetidas à análise de laboratório, apresentando as seguintes características químicas: pH 4,80 em água, 3,95 mg dm⁻³ de P, 42,00 mg dm⁻³ de K, 0,68 cmol_c dm⁻³ de Ca, 0,22 cmol_c dm⁻³ de Mg, 1,00 cmol_c dm⁻³ de Al, 1,01 cmol_c dm⁻³ de soma de bases trocáveis, 2,01 cmol_c dm⁻³ de capacidade de troca catiônica efetiva e 8,89% de índice de saturação por bases.

O preparo do solo foi realizado através de aração em profundidade de 40 cm e posterior gradagem. A calagem foi realizada com calcário dolomítico com PRNT de 96% para elevação da saturação de bases para 70%. O plantio da yacon foi realizado 60 dias após a calagem. Para a propagação, foram utilizados rizóforos de aproximadamente 30 gramas com 3 a 4 gemas, conforme recomendação de Pedrosa et al. (2020), plantados individualmente em camalhões com espaçamento de 1,0 m x 0,5 m, conforme recomendação de Carvalho et al. (2020).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos de quatro diferentes doses de adubação potássica: 50%; 100%; 150% e 200% do valor de referência; e uma testemunha (solo sem adubação). A parcela experimental foi constituída de 5 linhas com 5 plantas, sendo considerada como área útil aquela ocupada pelas 3 plantas centrais das três linhas centrais, disponibilizando 9 plantas úteis para avaliações.

O valor de referência considerado foi o obtido por Mendes (2019), que ao final de 210 dias após o plantio, constatou um acúmulo de 106,8 kg.ha⁻¹ de K em plantas de yacon. Para os cálculos das doses a serem utilizadas, esse valor foi convertido para K₂O, pois o adubo para a aplicação dos tratamentos foi o cloreto de potássio (KCl), obtendo-

se 128,65 kg.ha⁻¹. Como o potássio é o nutriente em estudo, foi considerada também uma eficiência de recuperação de 60 % (SANTOS, 2016).

Dessa forma, as doses aplicadas foram: 178,7 kg.ha⁻¹ de KCl; 357,4 kg.ha⁻¹ de KCl; 536,1 kg.ha⁻¹ de KCl; 714,8 kg.ha⁻¹ de KCl, que correspondem a 50, 100, 150 e 200% do valor de referência, respectivamente. A aplicação foi feita em cobertura, parcelada em duas vezes, sendo a 1ª aplicação realizada quando 80% das plantas encontravam-se emergidas, considerando o ponto de emergência a abertura das duas primeiras folhas (80 dias após o plantio) e a 2ª aplicação após 30 dias (110 dias após o plantio).

Para as adubações nitrogenada e fosfatada foi realizado o mesmo procedimento, onde Mendes (2019) constatou que houve o acúmulo de 172 kg.ha⁻¹ para N e 33,2 kg.ha⁻¹ para P (convertidos para P₂O₅, obtendo-se 76,07 kg.ha⁻¹). A adubação fosfatada foi realizada no plantio e a nitrogenada foi realizada em cobertura, juntamente com a potássica, utilizando-se os adubos superfosfato simples e ureia, respectivamente. A irrigação foi realizada por aspersão e as plantas espontâneas controladas por capina manual, sempre que necessário.

Durante o período experimental (março a outubro de 2020) foram realizadas avaliações do desenvolvimento vegetativo quinzenalmente (15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a aplicação da segunda parcela da adubação potássica, correspondentes a 125, 140, 155, 170, 185 e 200 dias após o plantio), medindo-se: número de folhas; área foliar; altura da planta; número de hastes; diâmetro da base das hastes; teor de clorofila, antocianina e flavonoides. Ao final do ciclo experimental (210 dias após o plantio), foram avaliadas a massa seca e teor de potássio em folhas, caules, rizóforos e raízes tuberosas. Também o número de raízes por planta; peso médio de raízes, assim como a classificação das raízes de padrão comercial e produtividade.

Para número de folhas e número de hastes foi realizada a contagem individual. Já o diâmetro da base da haste e a altura da planta foram encontrados utilizando-se um paquímetro e uma trena, respectivamente. A área foliar foi obtida por meio da medição das folhas com uma régua, onde a largura foi medida perpendicularmente à nervura da folha e o comprimento paralelamente, sem considerar o pecíolo e, em seguida, realizado o cálculo pela Equação ($\hat{A}fCL = -27,7418 + (3,9812CL/\ln CL)$), em que L é a largura da folha e C o comprimento, desenvolvida por Erlacher et al. (2016). Os teores de clorofila, antocianina e flavonoides foram obtidos através do aparelho Dualex.

O número de raízes por planta foi calculado a partir do número total de raízes, dividido pelo número de plantas, por tratamento. Já o peso médio de raízes foi obtido

pela divisão da massa total por planta, pelo número de raízes por planta. Foi realizada a pesagem total de folhas, caules e rizóforos para a obtenção da massa fresca de cada uma dessas partes. Em seguida, foram retiradas amostras com cerca de 300 gramas que foram acondicionadas em sacolas de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar a $70 \pm 5^\circ$, por 72 horas, obtendo-se desta forma a massa seca das amostras. O cálculo de massa seca total foi realizado pelo percentual de umidade. Após isso, as amostras foram moídas em moinho de facas e levadas para análise nutricional, obtendo-se o teor de potássio por digestão nítrico-perclórica, em cada parte da planta.

Para a classificação de raízes de padrão comercial, foi realizada a pesagem individual de raízes, que foram classificadas da seguinte maneira: 1A (peso maior que 300 gramas), 2A (peso entre 120 e 300 gramas) e 3A (peso menor que 120 gramas) (OLIVEIRA, 2016). A produtividade foi determinada multiplicando-se a produção de massa de raízes por planta pela quantidade de plantas em um hectare (20000 plantas), considerando o espaçamento de 1,0 m x 0,5 m.

Para a avaliação dos dados foram testados modelos de regressão linear, a fim de avaliar os ajustes de equações que relacionem as variáveis estudadas com as doses de potássio. Os modelos foram escolhidos com base nas avaliações do comportamento do gráfico das variáveis, da soma dos quadrados dos modelos completos, do coeficiente de determinação (R^2) e significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t de Student. Os coeficientes do modelo linear ($\hat{y} = a+bx$) ajustados para os dados vegetativos estão apresentados na Tabela 1. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados em Ambiente R (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência da adubação potássica foi melhor percebida nas variáveis morfológicas número de folhas, área foliar e altura de plantas, sendo sempre notados maiores valores com a adubação potássica em relação à testemunha (plantas que não receberam adubação) (Figura 2ABC).

Para o número de hastes observa-se uma diferença no início do ciclo, também com maiores valores observados com a adubação potássica, mas a partir dos 60 dias após a aplicação da segunda parcela da adubação já não foi mais notada (Figura 2D). Para o diâmetro das hastes, não foi observada diferença entre os tratamentos (Figura 2E).

Para as variáveis fisiológicas (clorofila, antocianina e flavonoides) praticamente não se nota diferença, apesar da linha de tendência para as plantas sem adubação aparecer sutilmente acima das plantas adubadas com potássio (Figura 2FGH).

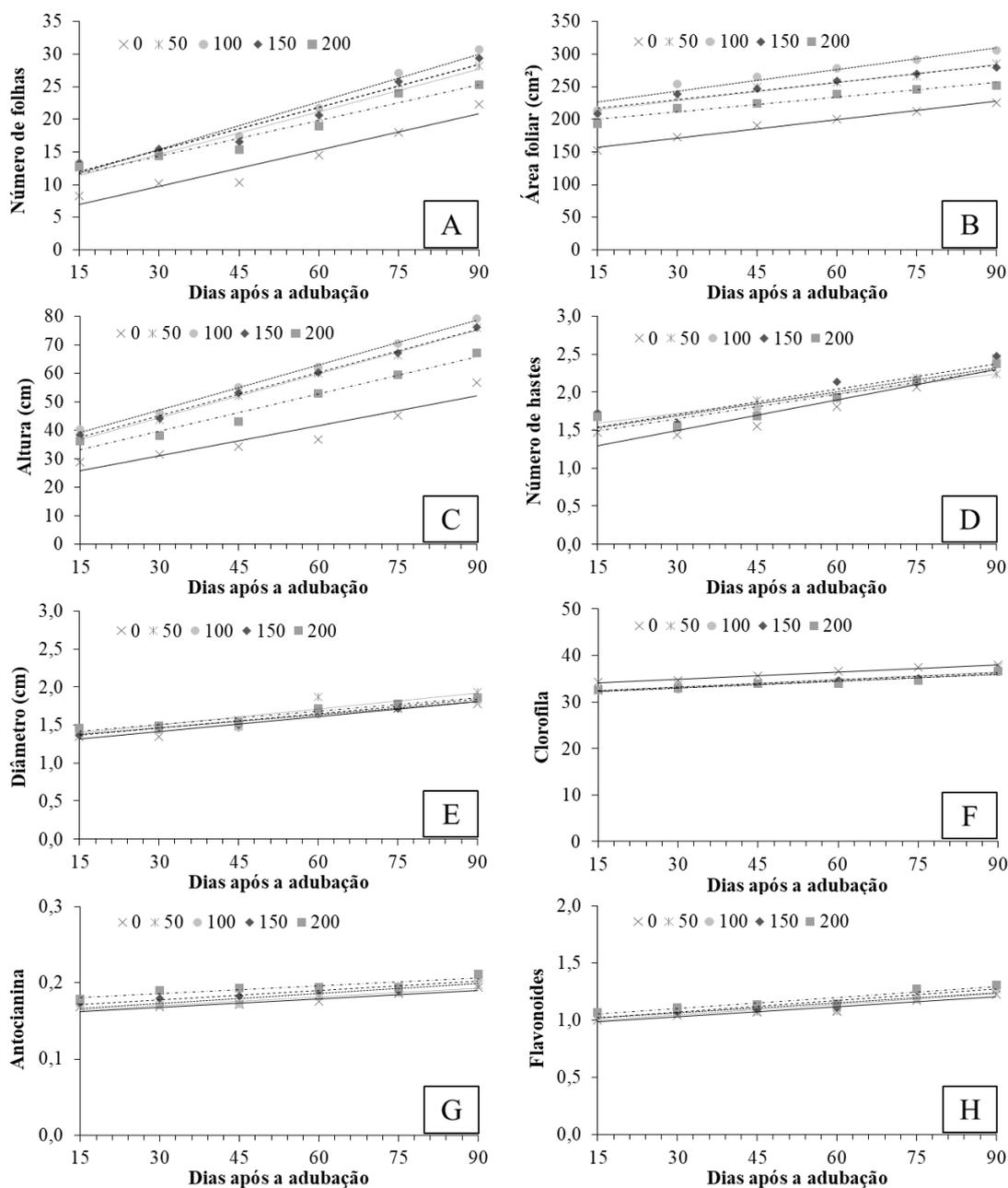


Figura 2. Número de folhas (A), área foliar (B), altura (C), número de hastes (D), diâmetro (E), clorofila (F), antocianina (G) e flavonoides (H) de plantas de yacon sob diferentes doses de adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

Tabela 1. Coeficientes do modelo linear ($\hat{y} = a+bx$) ajustados ao número de folhas, área foliar, altura, número de hastes, diâmetro, clorofila, antociana e flavonoides de plantas de yacon sob diferentes doses de adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

Variável	Dose (%)	a	b	R ²
Número de folhas	0	4,18	0,186 ^{**}	93,44
	50	8,12	0,218 ^{***}	96,38
	100	8,18	0,242 ^{***}	97,02
	150	8,65	0,220 ^{***}	95,58
	200	8,94	0,182 ^{**}	94,64
Número de hastes	0	1,10	0,013 ^{**}	88,99
	50	1,46	0,009 ^{**}	87,03
	100	1,37	0,011 ^{**}	84,68
	150	1,38	0,011 [*]	81,97
	200	1,34	0,011 ^{**}	86,36
Área foliar	0	142,58	0,947 ^{***}	98,45
	50	200,83	0,932 ^{***}	95,13
	100	209,64	1,112 ^{**}	93,43
	150	203,91	0,880 ^{**}	94,65
	200	189,34	0,747 ^{**}	94,68
Altura	0	20,56	0,349 ^{**}	88,49
	50	29,14	0,510 ^{***}	99,69
	100	31,44	0,523 ^{***}	99,72
	150	30,11	0,504 ^{***}	99,73
	200	26,49	0,438 ^{***}	97,05
Diâmetro	0	1,21	0,007 ^{**}	92,51
	50	1,29	0,007 ^{**}	84,97
	100	1,29	0,006 ^{**}	91,77
	150	1,27	0,006 ^{***}	95,91
	200	1,34	0,006 ^{**}	94,66
Clorofila	0	33,38	0,052 ^{***}	98,68
	50	31,65	0,053 [*]	81,44
	100	31,57	0,049 ^{**}	91,69
	150	31,65	0,052 ^{***}	96,27
	200	31,64	0,047 ^{**}	88,94
Antocianina	0	0,16	0,0004 ^{**}	88,70
	50	0,16	0,0004 ^{**}	93,59
	100	0,16	0,0004 ^{**}	86,08
	150	0,17	0,0004 ^{**}	86,20
	200	0,18	0,0003 [*]	79,47
Flavonoides	0	0,95	0,003 ^{**}	91,41
	50	0,96	0,003 ^{**}	86,89
	100	0,97	0,003 [*]	79,02
	150	0,97	0,003 ^{**}	84,61
	200	1,00	0,003 ^{**}	90,59

Significativo ao nível de 5% (*); 1% (**); 0,1% (***) pelo teste t de Student.

De modo geral, nota-se que dentre as doses aplicadas, há maior destaque para a dose de 100% (357,4 kg.ha⁻¹ de KCl) e uma tendência de piores resultados com a dose de 200% (714,8 kg.ha⁻¹ de KCl), o que pode estar relacionado com o excesso de potássio no solo que essa dose proporcionou.

Segundo Folegatti e Blanco (2000), o excedente de sais no solo altera as atividades metabólicas das células, principalmente no que diz respeito ao alongamento celular, ocorrendo a redução do mesmo devido à limitação ocorrente na elasticidade da parede celular e, conseqüentemente, redução do crescimento e desenvolvimento da planta. Com base nessas informações, é possível entender a razão do comportamento das características de altura, número de folhas e área foliar (Figura 2ABC) terem sido mais promissoras na dose de 357,4 kg.ha⁻¹ de KCl (100%).

Com relação à linha de tendência para as plantas sem adubação aparecer sutilmente acima das plantas adubadas com potássio, para os teores de clorofila nas folhas (Figura 2F), acredita-se que foi pela redução dos teores de N nas folhas com o aumento da concentração de potássio (conforme será apresentado na Figura 3A).

É de conhecimento que a clorofila tem relação direta com o teor de nitrogênio presente nas folhas e a redução no teor desse nutriente leva à redução nos teores de clorofila (CLARKSON; HANSON, 1980; HÁK; NÁTR, 1987). Há indicativos de que o incremento de potássio pode ocasionar diminuição nos valores de N e, conseqüentemente, nos valores de clorofila foliar. Passos et al. (2020) estudaram a resposta da beterraba à doses de potássio e constataram que as doses de K influenciaram os teores foliares de nitrogênio, ao passo que ocorria o aumento das doses de K, o teor de N diminuía. Da mesma forma, Gazola (2017) também observou, em cultivo de mandioca, que os teores de nitrogênio reduziram linearmente de acordo com o aumento das doses de adubação potássica.

Ao final do ciclo (210 dias após o plantio) observou-se que o aumento nas dosagens da adubação potássica promoveu aumento nos teores de potássio em folhas, caules, rizóforos e raízes (Figura 3ABCD). Resultado esperado tendo em vista que quando a disponibilidade do potássio no solo é alta e as condições abióticas são favoráveis, as plantas tendem a absorverem uma maior quantidade deste elemento, comportamento titulado como “consumo de luxo” (FULLIN et al., 2007). Situação semelhante já foi observada em outras hortaliças, como a batata doce (SILVA, 2013) e a beterraba (PASSOS et al., 2020).

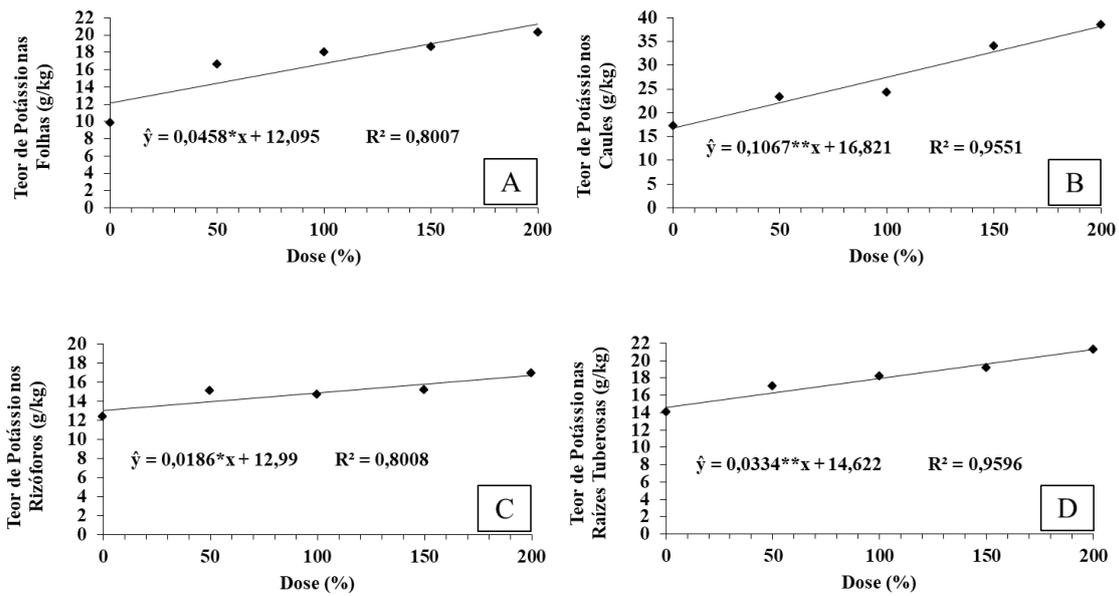


Figura 3. Teor de potássio nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C) e raízes tuberosas (D) de plantas de yacón sob diferentes doses de adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

No entanto, o alto teor de potássio pode ter gerado um efeito deletério para o acúmulo de reservas na yacón, pois se observa uma diminuição na massa seca desses órgãos (rizóforos e raízes tuberosas) ao final do ciclo, quando se aplica acima de 100% da dose (Figura 4 CD). Enquanto que para a parte aérea (folhas e caules) não se nota esse efeito e o acúmulo de massa seca nesse órgão foi indiferente às doses de potássio aplicadas (Figura 4AB).

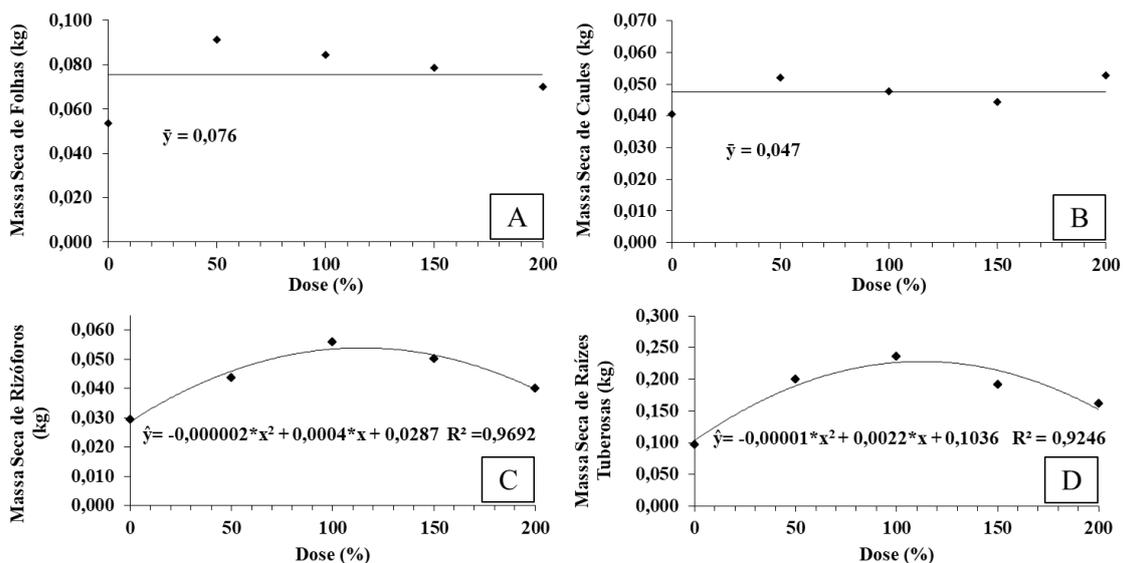


Figura 4. Massa seca de folhas (A), caules (B), rizóforos (C) e raízes tuberosas (D) de plantas de yacón sob diferentes doses de adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

Esse resultado indica que a dose de 357,4 kg.ha⁻¹ de KCl seria a ideal a ser utilizada e que a aplicação de doses maiores, que levariam a acúmulos elevados de potássio, pode ser prejudicial, provocando diminuição no acúmulo de massa seca, principalmente nos órgãos de reserva (rizóforos e raízes tuberosas) e, por consequência, uma queda na produção.

Essa diminuição no acúmulo de massa seca ocorreria por efeito de um desequilíbrio nutricional (SILVA; TREVIZAM, 2015), pois segundo Marschner (2011) com o aumento dos teores de íons, como potássio, pode haver menor absorção de outros, inclusive afetando o crescimento das plantas. Os efeitos do aumento de doses de potássio na redução da absorção de outros nutrientes, especialmente o cálcio e o magnésio, já foram relatados nos trabalhos de Mascarenhas et al. (2000), Prado et al. (2004) e Fernandes et al. (2017).

O comportamento produtivo da yacon refletiu o que foi observado com o acúmulo de massas seca, mostrando que os maiores números de raízes por planta e a produtividade são alcançados com as doses de 357,4 kg.ha⁻¹ de KCl (100% do valor de referência) e que acima dessa dose haverá efeitos negativos sobre a produção da yacon (Figura 5AC). Já o peso médio de raízes foi indiferente às doses de potássio aplicadas, mostrando que possivelmente a variância desses dados não pode ser explicada em função das doses aplicadas, sendo considerados fatores independentes (Figura 5B).

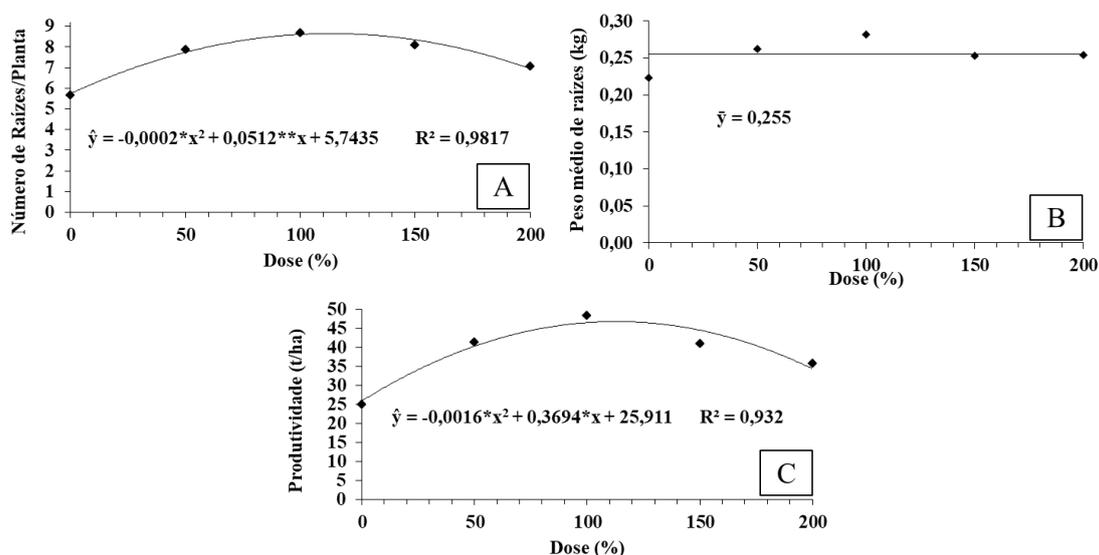


Figura 5. Número de raízes por planta (A), peso médio das raízes (B) e produtividade (C) de plantas de yacon sob diferentes doses de adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

O comportamento indiferente do peso médio de raízes em função das doses potássio mostra que os ganhos de produtividade, notado com a aplicação do potássio, estão relacionados com o aumento no número de raízes de reserva produzidas pela yacon e não com o aumento no peso individual de cada raíz. Diferente do que foi observado na cultura da mandioca por Gazola (2017), quando maiores doses de potássio proporcionavam declínio no peso médio de raízes, quando comparada com as outras doses menores.

Já em batata doce, Cardoso (2018) observou comportamento semelhante, com decréscimo no número de raízes, com incremento nas doses de potássio acima do recomendado, demonstrando que doses excessivas prejudicaram a formação de raízes. Também em batata doce, cultivar Amanda, Borges (2019) observou que o incremento da dose de potássio causou uma queda na produtividade. Na cenoura, Silva et al. (2017) observaram que a produtividade sofreu decréscimo com as doses de potássio acima do recomendado.

Notadamente o acúmulo elevado de potássio promovido pelas doses acima do valor de referência pode ter causado um desequilíbrio nutricional nas plantas, promovendo perdas na produção. O potássio compete com outros cátions nos sítios de entrada do sistema radicular, e isso acarreta em antagonismo de outros nutrientes, como cálcio e magnésio, acarretando em escassez desses nutrientes, prejudicando o desenvolvimento da planta e a produtividade (WAKEEL, 2013).

Acredita-se que esse desequilíbrio pode ter promovido menor absorção de cálcio, que está relacionado com a formação de parede celular, e na sua ausência a planta pode ter apresentado dificuldades na formação dos órgãos de reserva (rizóforo e raízes tuberosas), inclusive priorizando a sua alocação para formação de órgão aéreos, como folhas e caules, que são órgão mais vitais a sobrevivência da planta (OLIVEIRA et al., 2010). Possivelmente essa seria a causa da não observância de diferença no acúmulo de massa seca nesses órgãos (folhas e caules). As plantas teriam priorizado investimento em órgãos envolvidos diretamente na absorção da luz solar e realização da fotossíntese, em detrimento dos órgãos de reserva (OLIVEIRA et al., 2010).

Assim, fica nítida a maior eficiência agrônômica com a aplicação da dose de 100% do valor de referência ($357,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de KCl) que, quando comparada com o tratamento testemunha (solo sem adubação), promoveu acréscimos de 35% no número de raízes por planta e 48% na produtividade (Figura 5AC). Isso demonstra o quão o manejo correto da adubação potássica é importante para desenvolvimento e produção da yacon.

As doses da adubação potássica também influenciaram nas classes das raízes produzidas pela yacon. Nota-se que com a aplicação da dose de 100% do valor de referência obteve-se o maior percentual (37,19%) de raízes na classe 1A (raiz grande > 300 g) (Figura 6C), o que demonstra maior potencial de rentabilidade econômica com a aplicação dessa dose, tendo em vista que essa classe é a que alcança maiores valores comerciais (CARVALHO et al., 2020).

Com a aplicação de doses maiores, os maiores percentuais de raízes produzidas estão na classe 2A (41,95% e 35,73%, para as doses 150 e 200%, respectivamente), que apresentam valores medianos no mercado (Figura 6DE). Da mesma forma ocorreu quando se aplicou a dose menor que o valor de referência (50%) e com a testemunha (solo sem adubação) (Figura 6AB).

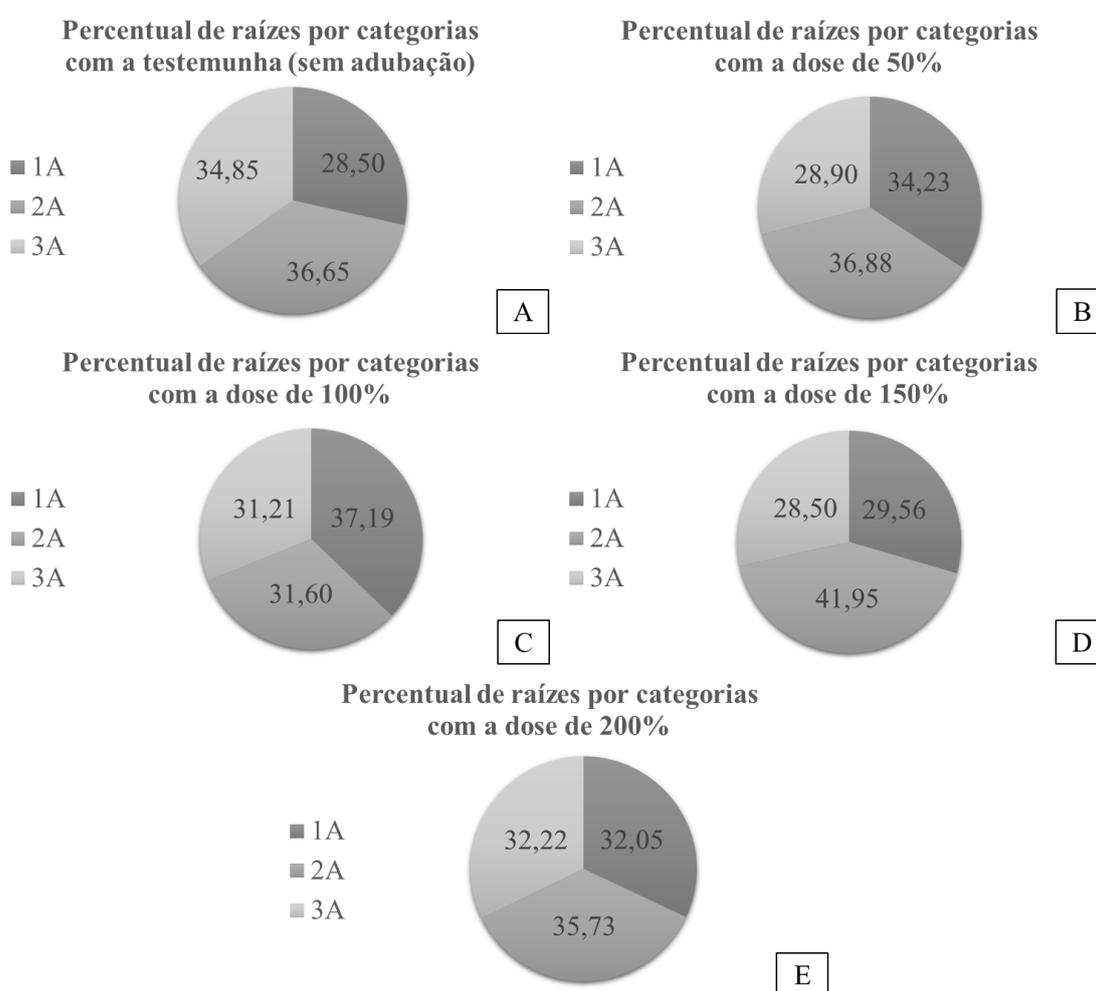


Figura 6. Percentual de raízes de yacon produzidas nas categorias 1A, 2A e 3A em função das doses de 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D) e 200% (E) da adubação potássica. Alegre-ES, 2020.

CONCLUSÃO

É possível dizer que a dose de 100% do valor de referência (357,4 kg.ha⁻¹ de KCl) foi a que apresentou a maior eficiência agrônômica (maior número de raízes por planta e produtividade) para o cultivo de yacon, podendo levar a maior eficiência econômica, por produzir maiores quantidades de raízes nas classes mais valorizadas no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. F. de; LEONE, R. S.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. “Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Extracts of Leaves and Flowers of Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*).” **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 499–506, 2014.

BENITES, V. M. B.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. **Potássio, cálcio e magnésio**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: IPNI – Brasil, V. 2, cap. 3, pág. 135-204, 2010.

BORGES, T. A. **Avaliação do rendimento de etanol de batata-doce produzida com diferentes fontes e doses de potássio**. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroenergia, Campus Universidade de Palmas-To, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

CAETANO, B. F. R.; MOURA, N. A.; ALMEIDA, A. P. S.; DIAS, M. C.; SIVIERI, K.; BARBISAN, L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: Healthpromoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 7, p. 436, 2016.

CAMPOS, D.; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, AN.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1592–1599, 2012.

CARDOSO, S. S. **Rendimento e qualidade de batata-doce em função de doses e fontes de K₂O**. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

CARVALHO, A. H. O.; DE OLIVEIRA, F. L.; LIMA, W. L.; TEIXEIRA, A. G.; PEDROSA, J. L. F.; PARAJARA, M. C. Production and profitability of yacon grown in

different spatial arrangements. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, p.1214 - 1220, 2020.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 239-298, 1980.

ERLACHER, W.A.; OLIVEIRA, F.L.; FIALHO, G.S.; SILVA, D.; E CARVALHO, A.H. Modelos para estimar a área foliar do yacon. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n.3, p.422-427, 2016.

FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. D. S.; GARCIA, E. L.; LEONEL, M. Yield and nutritional requirements of cassava in response to potassium fertilizer in the second cycle. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 20, p. 2785-2796, 2017.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F. Desenvolvimento vegetativo do pepino enxertado irrigado com água salina. **Scientia Agricola**, v.57, p.451-457, 2000.

FREITAS, D.G.C.; JACKIX, M.N.H. Efeito de bebida adicionada de frutoligossacarídeo e pectina no nível de colesterol e estimulação de bifidobactérias em hamsters hipercolesterolêmicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.1, p.81-86, 2005.

FULLIN, E. A., MUNER, L. H., DADALTO, G. G., PREZOTTI, L. C. **Adubos e deficiência das adubações**. 2007. In: Prezotti, L.C., Gomes, J. A., Dadalto, G.G., Oliveira, J.A. de. Manual de Recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo- 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, p. 43-69.

GAZOLA, B. **Produtividade e cozimento da mandioca cultivar IAC 576-70 em resposta à adubação potássica em solo arenoso**. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2017.

GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; MERCADO, M. I.; GRAU, A.; CATALÁN, C. A.; SÁNCHEZ, S. S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, v. 185, p. 143–152, 2010.

HAK, R.; NATR, L. Effect of nitrogen starvation and recovery on gas exchange characteristics of young barley leaves. **Photosynthetica (Praha)**, v. 21, n. 1, p. 9-14, 1987.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Boletim Agrometeorológico**. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/boletim-agrometeorologico-dados?estacao=iuna_auto_inc.xls&municipio=iuna>. Acesso em 20 jan. 2021.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3ª ed. 2011. 672 p.

MASCARENHAS, H. A. A., TANAKA, R. T., CARMELLO, Q. A. C., GALLO, P. B., AMBROSANO, G. M. B. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 445-449, 2000.

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

MOURA, N. A.; CAETANO, B. F. R.; SIVIERI, K.; URBANO, L. H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M. A. M.; BARBISAN, L. F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 2902–2910, 2012.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 40–46, 2011.

OLIVEIRA, S.P.; VIANA, A.E.S.V.; MATSUMOTO, S.N.; JÚNIO, N.S.C.; SÃO JOSÉ, T.S.A.R. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agronômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, n.1, p. 99-108, 2010.

OLIVEIRA, T. **Classificação de batata yacon na CEAGESP**. Boletim do Centro de Qualidade, Pesquisa & Desenvolvimento da CEAGESP, SP, v 1, n 4, 2016.

PASSOS, D. R. C.; CECÍLIO FILHO, A. B; REIS, I. S.; PEREIRA, B. J. Response of beet to doses of potassium in oxisol with high content of the nutrient. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 3, p. 713-719, 2020.

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.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M; CECÍLIO R. A. **Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo**. CAUFES, Alegre, ES. 2012.

PRADO, R. M.; BRAGHIROLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. V. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria

seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 295-299, 2004.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.898-905, 2008.

SANTOS, L. P. D. dos. **Modelagem da recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio e métodos de aplicação de fósforo para a cultura da batata**. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2016.

SILVA, Graziella dos Santos Portes. **Concentração de amido e estimativa de rendimento de álcool em batata-doce cultivada com diferentes fontes e doses de potássio**. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

SILVA, M. D. S., TREVIZAM, A. R. **Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas**. **Informações agronômicas**, 49, 16p. 2015.

SILVA, L. M.; BASÍLIO, S. A.; SILVA JÚNIOR, R. L.; BENETT, K. S. S.; BENETT, C. G. S. Aplicação de nitrogênio, potássio e cálcio na cultura da cenoura. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 69-76, 2017.

VALENTOVÁ, K.; CVAK, L.; MUCK, A.; ULRICHOVÁ, J.; SIMANCIJ, V. Antioxidant effect of extracts from de leaves of *Smallanthus sonchifolius*. **European Nutrition of Journal**, v. 47, p. 61-65, 2003.

VALENTOVÁ, K.; SERSEN, I.; ULRICHOVÁ, J. Radical scavenging and anti lipoperoxidative activities of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, S3, p. 5571-5582, 2005.

VIGNALE, N. D.; GURNI, A. A. Identificación micrográfica de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, v. 24, p. 96-98, 2005.

WAKEEL, A. Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 344-354, 2013.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **O potássio na agricultura brasileira**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. 841 p.

ARTIGO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE YACON CULTIVADAS COM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO

A busca por alimentos funcionais vem se destacando e a tendência em consumir produtos com poucas calorias, e com propriedades biologicamente ativas, vem aumentando. O consumo das raízes tuberosas de yacon adequa-se a esse conceito, pois nelas são encontrados altos teores de frutooligossacarídeos, o que lhe confere propriedades nutraceuticas. No entanto, sabe-se que essas propriedades podem ser alteradas com o manejo da adubação no cultivo dessa planta. Nesse contexto, a adubação potássica tem grande influência, tendo vista que o potássio é um nutriente essencial, que exerce diversas funções, além de estar associado à qualidade final do produto. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes doses de adubação potássica nas características físico-químicas de raízes de yacon. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições e 5 tratamentos: quatro doses de adubação potássica (50 %; 100%; 150%; 200% do valor de referência, correspondendo a 178,7 kg.ha⁻¹; 357,4 kg.ha⁻¹; 536,1 kg.ha⁻¹; 714,8 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio - KCl), e uma testemunha (solo sem adubação). As características químicas avaliadas foram: pH, acidez total titulável, sólidos solúveis, condutividade, turbidez, porcentagem de umidade e de cinzas. O perfil de textura foi feito analisando-se: dureza, adesividade, coesividade, índice de mastigabilidade, elasticidade e gomosidade. A adubação potássica conferiu melhorias nas características químicas (maiores teores de sólidos solúveis e menor acidez) e físicas (menor dureza, índice de mastigabilidade, coesividade e adesividade) das raízes tuberosas da yacon trazendo maior qualidade ao produto final.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*; frutooligossacarídeos; alimento funcional; raízes tuberosas.

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF YACON ROOTS
CULTIVATED WITH DIFFERENT DOSES OF POTASSIUM
FERTILIZATION**

ABSTRACT

The search for functional foods has been highlighted, and the tendency to consume products with few calories and with biologically active properties has been increasing. The consumption of yacon tuberous roots is adapted to this concept, as they contain high levels of fructooligosaccharides, which gives it nutraceutical properties. However, it is known that these properties can be changed with the management of fertilization in the cultivation of this plant. In this context, potassium fertilization has great influence, considering that potassium is an essential nutrient, which performs several functions, in addition to being associated with the final quality of the product. Therefore, the objective of the work was to evaluate different doses of potassium fertilization in the physicochemical characteristics of yacon roots. The experimental design used was randomized blocks, with 4 replications and 5 treatments: four doses of potassium fertilization (50%; 100%; 150%; 200% of the reference value, corresponding to 178.7 kg.ha⁻¹; 357.4 kg.ha⁻¹; 536.1 kg.ha⁻¹; 714.8 kg.ha⁻¹ of potassium chloride - KCl), and a control (soil without fertilization). The chemical characteristics evaluated were: pH, total titratable acidity, soluble solids, conductivity, turbidity, percentage of moisture and ash. The texture profile was made by analyzing: hardness, adhesiveness, cohesiveness, chewability index, elasticity and guminess. Potassium fertilization improved the chemical characteristics (higher levels of soluble solids and less acidity) and physical characteristics (less hardness, chewability, cohesiveness and adhesiveness) of yacon's tuberous roots, bringing higher quality to the final product.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*; fructooligosaccharides; functional food; tuberous roots.

INTRODUÇÃO

Atualmente, há um aumento na busca por alimentos com baixo teor de calorias e carboidratos e que concentrem maiores quantidades de antioxidantes e vitaminas, ou seja, com conteúdo biologicamente ativo (DIONÍSIO et al., 2015). Nesse contexto, surge a yacon (*Smallanthus sonchifolius*), que é uma planta de origem Andina, pertencente à família Asteraceae e que produz raízes tuberosas como órgãos de reserva, que são usadas na alimentação. Isso ocorreu devido à composição das raízes, que apresentam altas concentrações de inulina e frutooligossacarídeos (FOS), que acrescentam grandes benefícios à saúde humana (CAETANO et al., 2016).

A yacon é considerada um alimento prebiótico, pois apresenta características imunoestimulatórias, que promovem a atividade antimicrobiana, anti-inflamatória e antioxidante (VASCONCELOS et al., 2015;). Também atua na regulação do apetite (SILVA et al., 2017), no incremento na disponibilidade de minerais (LOBO et al., 2014), modulação positiva do sistema imune (VAZ-TOSTES et al., 2014), no efeito hipolipidêmico (PEREIRA et al., 2016) e na prevenção de doenças como diabetes e câncer (SALDAÑA et al., 2014).

As raízes tuberosas da yacon possuem um sabor adocicado e uma textura levemente crocante, se assemelhando à frutas como maçã, pera, melancia e melão, por isso a sua principal forma de consumo é feita com a raiz natural, como em algumas frutas, apenas descascando e ingerindo. No entanto, já há pesquisas sobre outras formas de consumo da yacon (MACEDO et al., 2019).

Entretanto, variações nas características físico-químicas nas raízes tuberosas de yacon foram verificadas em trabalhos de pesquisa envolvendo o cultivo e o processamento dessa raiz (HERMAN et al., 1999; VASCONCELOS et al., 2010; SILVA et al., 2018). Dessa forma, buscar respostas sobre seu cultivo, ou seja, técnicas que aprimorem seu sistema de produção e aumentem a qualidade do produto final, como por exemplo, o manejo da adubação, são fundamentais para o sucesso na produção.

Na nutrição de plantas, um dos nutrientes considerado essencial para o desenvolvimento é o potássio, que exerce diversas funções como ativação enzimática, formação de proteínas, auxílio na fotossíntese (KUMAR et al., 2007), regulação da pressão osmótica e abertura e fechamento de estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2004). É também associado à qualidade final do produto, pois influencia beneficemente as

características de tamanho, formato, textura, cor, sabor, acidez, resistência ao transporte, valor nutritivo (RAIJ, 1990) e o valor de mercado (FILGUEIRA, 2008).

Portanto, é pertinente a procura por respostas acerca da adubação potássica sobre a qualidade das raízes de yacon produzidas, visto que essas informações relacionadas ao cultivo ainda são mínimas. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar as características físico-químicas de raízes tuberosas de yacon em função de diferentes doses de adubação potássica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no distrito de Celina, localizado no município de Alegre, Espírito Santo. O local apresenta altitude de 680 m, latitude de 20° 47' 1" sul e longitude de 41° 36' 56" oeste.

A precipitação, umidade relativa e as médias mensais de temperatura foram obtidas por meio de estações meteorológicas automáticas mais próximas do experimento, sendo utilizada a do INCAPER em Iúna/ES (20° 21' de latitude Sul, 41° 33' de longitude Oeste e 758 m de altitude) (Figura 1). Durante o período experimental (março a outubro de 2020) a precipitação acumulada foi de 638 mm, com médias de temperaturas máximas em torno de 21,43 °C e médias de temperaturas mínimas 17,79 °C.

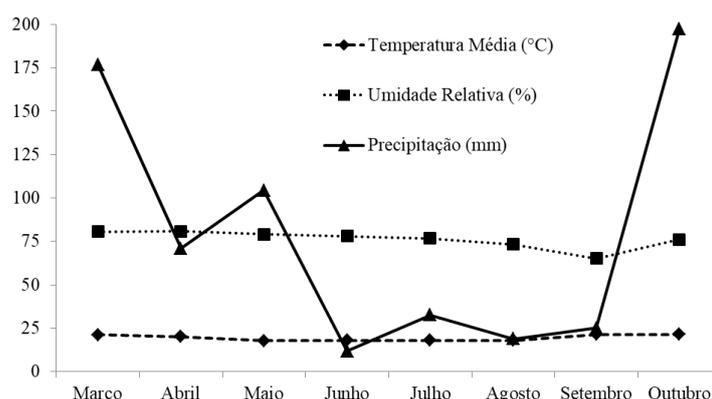


Figura 1. Médias mensais de precipitação, umidade relativa e temperatura durante o período experimental. Alegre-ES, 2020. Fonte: Incaper (2021).

Amostras de solo foram coletadas e submetidas à análise de laboratório, apresentando as seguintes características químicas: pH 4,80 em água, 3,95 mg dm⁻³ de P, 42,00 mg dm⁻³ de K, 0,68 cmol_c dm⁻³ de Ca, 0,22 cmol_c dm⁻³ de Mg, 1,00 cmol_c dm⁻³

de Al, $1,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de soma de bases trocáveis, $2,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de capacidade de troca catiônica efetiva e 8,89% de índice de saturação por bases.

O preparo do solo foi feito realizando-se aração com profundidade de 40 cm e posterior gradagem. A calagem foi realizada utilizando calcário dolomítico com PRNT de 96% para elevação da saturação de bases para 70%, esperando-se um período de 60 dias para o plantio. Para a propagação da yacon, foram utilizados rizóforos de aproximadamente 30 gramas com 3 a 4 gemas, conforme recomendação de Pedrosa et al. (2020), plantados individualmente em camalhões com espaçamento de 1,0 m x 0,5 m, conforme recomendação de Carvalho et al. (2020).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos de quatro diferentes doses de adubação potássica: 50%; 100%; 150% e 200% do valor de referência; e uma testemunha (solo sem adubação). A parcela experimental foi constituída de 5 linhas com 5 plantas, sendo considerada como área útil aquela ocupada pelas 3 plantas centrais das três linhas centrais, disponibilizando 9 plantas úteis para avaliações.

O valor de referência considerado foi o obtido por Mendes (2019), que ao final de 210 dias após o plantio, constatou um acúmulo de $106,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K em plantas de yacon. Para os cálculos das doses a serem utilizadas esse valor foi convertido para K_2O , obtendo-se $128,65 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Como o potássio é o nutriente em estudo, foi considerada também uma eficiência de recuperação de 60 % (SANTOS, 2016).

Dessa forma, as doses aplicadas foram: $178,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de KCl; $357,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de KCl; $536,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de KCl; $714,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de cloreto de potássio (KCl), equivalentes a 50, 100, 150 e 200%. A aplicação foi feita em cobertura, parcelada em duas vezes, sendo a 1ª aplicação realizada quando 80% das plantas encontravam-se emergidas, ou seja, com o primeiro par de folhas aberto (80 dias após o plantio) e a 2ª aplicação após 30 dias (110 dias após o plantio).

Para as adubações nitrogenada e fosfatada foi realizado o mesmo procedimento, em que Mendes (2019) observou o acúmulo de $172 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para N e $33,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para P (convertidos para $76,07 \text{ kg}$ de P_2O_5), sendo aplicados $382,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de uréia e $422,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de superfosfato simples. A adubação fosfatada foi realizada no plantio e a nitrogenada foi realizada em cobertura, juntamente com a potássica. Durante todo o período experimental, o plantio foi irrigado por aspersão e as plantas espontâneas controladas por capina manual, sempre que necessário.

Ao final do experimento, aos 210 dias após o plantio, as plantas foram colhidas e as raízes separadas e levadas para o Laboratório de Química de Alimentos do CCAE/UFES para serem realizadas as análises químicas como pH, sólidos solúveis, acidez total titulável, condutividade, turbidez, umidade e cinzas. Uma amostra dessas raízes foi separada para a realização das análises físicas, no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CCAЕ/UFES), onde foram observados os seguintes parâmetros: dureza, adesividade, coesividade, índice de mastigabilidade, elasticidade e gomosidade.

Para as análises químicas, as raízes foram cortadas, lavadas, secadas e levadas a centrifuga para extração do suco, que foi coado em papel filtro para realização das avaliações. Foram realizadas leituras diretas do suco, obtendo-se os valores de pH, condutividade elétrica e sólidos solúveis, com os aparelhos pHmetro, condutivímetro e refratômetro, respectivamente.

A acidez total titulável foi obtida por uma amostra diluída do suco (5 mL de suco + 50 mL de água destilada), que foi titulada com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, usando-se como indicador a fenolftalina, de acordo com IAL - Instituto Adolfo Lutz (2008). A acidez foi calculada em função do ácido málico, que é o mais expressivo na yacon. Para turbidez, também foi retirada uma amostra (10 mL de suco + 40 mL de água destilada), que foi levada para o turbidímetro.

Posteriormente, as raízes de cada tratamento foram raladas e retirou-se uma amostra para ser incinerada na mufla a 550 °C, até peso constante, para obtenção das cinzas. Para umidade, o mesmo procedimento foi feito, porém as amostras foram levadas a estufa a 105 °C. Ao final, foram padronizadas amostras das raízes com 2 cm de espessura e 4 cm de diâmetro para a realização da análise de textura. Os parâmetros foram determinados através do texturômetro Brookfield CT3 utilizando-se a ponta de prova (probe) do tipo agulha TA39, com velocidade do teste de 2 mm s⁻¹. A distância do alvo para perfuração foi estabelecida em 5 mm.

Para o processamento dos dados foram testados modelos de regressão linear, para a avaliação do ajuste de equações que correlacionem os fatores testados com as variáveis analisadas. Os parâmetros para a escolha dos modelos foram o comportamento do gráfico de variáveis, da soma de quadrados dos modelos, do R² (coeficiente de determinação) e a significância dos coeficientes de regressão. Para tal, foi utilizado o teste t de Student e o Ambiente R (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi encontrado ajuste com os modelos testados para turbidez e condutividade, desta forma, presume-se que as doses utilizadas não influenciaram a variabilidade dessas características químicas das raízes (Figura 2AB).

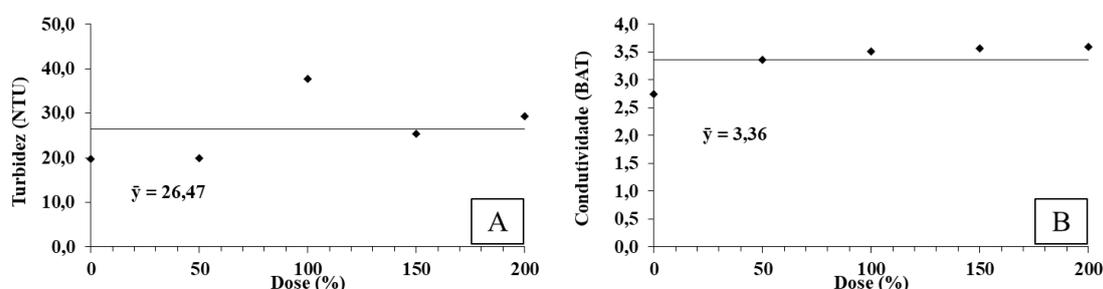


Figura 2. Turbidez (A) e condutividade elétrica (B) no suco das raízes tuberosas de yacon, em função das diferentes doses de potássio. Alegre-ES, 2020.

Não havendo alteração na turbidez do suco, significa que as doses de potássio não influenciaram no conteúdo de sólidos insolúveis em suspensão (proteínas, pectina, lipídios, celulose e hemicelulose) nas raízes de yacon, já que essa característica resulta de uma mistura de partículas desses sólidos, que ficam em suspensão após a ruptura das células durante o preparo do suco (KLAVONS; BENNETT; VANNIER, 1994). A turbidez que os sucos apresentam é uma característica importante para sua aceitação no mercado consumidor (CORREIA NETO; FARIA, 1999), desta forma, a não alteração dessa característica é um resultado positivo, pois demonstra que a adubação potássica não provocaria perdas de qualidade para o consumo das raízes.

Da mesma forma aconteceu com a condutividade, possivelmente por consequência da não variação na turbidez, já que essa característica (condutividade) pode ser influenciada por diversos fatores, como a concentração de eletrólitos, a temperatura, os sólidos em suspensão (turbidez) (MIN; SASTRY; BALASUBRAMANIAM, 2007), dentre outros.

A condutividade é a capacidade que um determinado meio tem de transportar a corrente elétrica e a sua medição informa como está o comportamento iônico nas soluções (SOUZA, 2008), mas segundo Icier; Ilicali (2005) essa capacidade é alterada com o conteúdo de sólidos insolúveis.

Há vários trabalhos apontando para essa relação, como Vieira; Cartapatti-Stuchi (2006), que avaliando o efeito do tamanho de partículas suspensas em suco de manga

observaram que a condutividade elétrica foi maior nas amostras sem partículas, constatando que provavelmente partículas intermediárias dificultam o movimento iônico. Resultado similar foi apontado por Pelacani (2002), também em suco de manga e Palaniappan; Sastry (1991), em suco de cenoura. Ambos os trabalhos demonstraram que a condutividade é maior em soluções com tamanho de partículas menores de sólidos insolúveis.

Em se tratando da influência direta das doses de potássio, Gurgel et al. (2010) avaliando a qualidade pós-colheita de melões, obtiveram resultados semelhantes para condutividade do suco, onde as análises de regressão não obtiveram ajuste para os modelos testados.

Para sólidos solúveis, pH e acidez total titulável observou-se que houve ajuste do modelo linear. No conteúdo de sólidos solúveis houve um leve aumento, alcançando 10% quando comparado a maior dose com o tratamento sem adubação (Figura 3A). Para o pH, notou-se um leve decréscimo no valor, enquanto que para acidez total foi mais acentuado, com diminuição de 17%, com a maior dose de potássio (Figura 3BC).

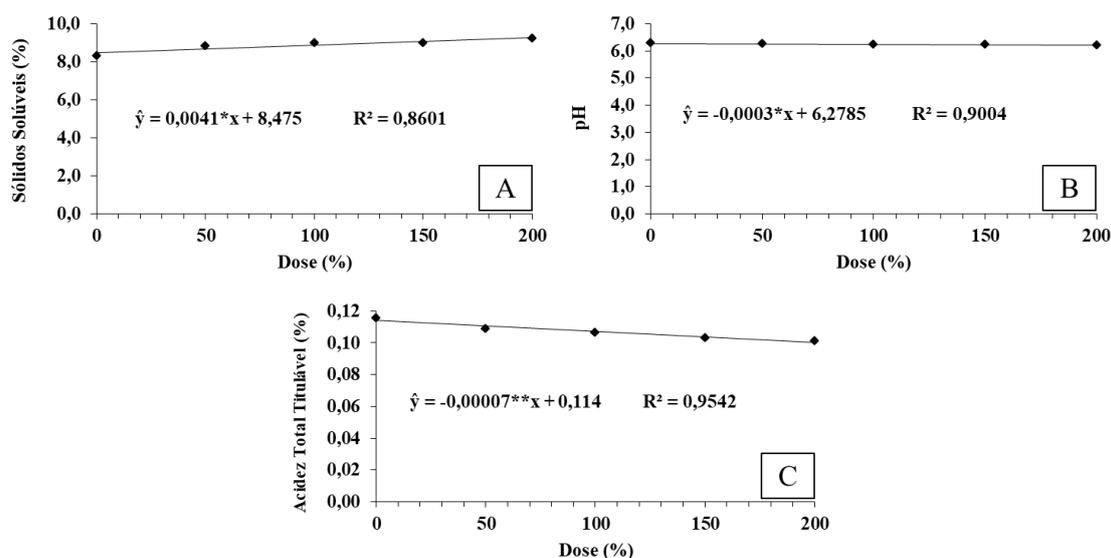


Figura 3. Sólidos solúveis (A), pH (B) e acidez total titulável (C) no suco das raízes tuberosas de yacon, em função das diferentes doses de potássio. Alegre-ES, 2020.

O aumento nos teores de sólidos solúveis totais com a maior disponibilidade de potássio (com o aumento das doses de adubação potássica) acontece por consequência do favorecimento da formação e translocação de carboidratos por esse nutriente (LIN; HUANG; WANG, 2001). O potássio influencia o transporte de água na planta e, conseqüentemente, o transporte de assimilados para os órgãos de reserva

(MALAVOLTA et al., 1997). Isso porque uma de suas funções é estimular o armazenamento de solutos em órgãos como sementes, tubérculos, raízes e frutos, sendo que a velocidade aumenta com o acréscimo de potássio (RAIJ, 1990).

Os resultados demonstram uma contribuição da adubação potássica para ganhos na qualidade das raízes de yacon com o aumento dos teores de açúcares (principal componente dos sólidos solúveis), vitamina C, outros ácidos e algumas pectinas (CHITARRA; CHITARRA, 2005), abrindo para a possibilidade de melhor aceitação no mercado consumidor.

Apesar de ser sutil, houve uma diminuição na acidez (pH e acidez total), que pode ter ocorrido com a maior conversão de açúcares (maiores teores de sólidos solúveis notado) e a degradação de ácidos orgânicos (KADER, 1978; PRETTY, 1982), possivelmente devido ao processo de fechamento do ciclo de reserva nas raízes de yacon (maturação), que pode ter sido acelerado com a maior disponibilidade de potássio. Resultados semelhantes foram observados por Sampaio et al. (2015) com melancia, Barreto et al. (2020) com pessegueiro, Delgado et al. (2004) com uvas e Veloso et al. (2001) com abacaxi, relatando uma antecipação do amadurecimento desses frutos, favorecido pelo incremento de potássio disponível.

Com o amadurecimento, principalmente em frutos, nota-se maiores teores de açúcares, com isso ocorre a neutralização dos ácidos orgânicos de forma mais acentuada, tornando os frutos menos ácidos e mais adocicados (GRANGEIRO; CECÍLIO FILHO, 2004). Essa possibilidade também foi apontada por Silva et al. (2018) para as raízes de yacon, que observaram redução na acidez em estágio estabelecido como de fechamento de ciclo, sendo considerado como o ponto ideal para a colheita de raízes mais adocicadas, que é uma característica essencial para a palatabilidade e melhor aceitação de mercado.

Em relação à porcentagem de umidade e de cinzas, observa-se ajuste linear crescente, ou seja, com a elevação das doses de potássio, os valores das duas variáveis também aumentaram, com acréscimos de 8 e 22%, respectivamente, com a maior dose de potássio (200%) (Figura 4).

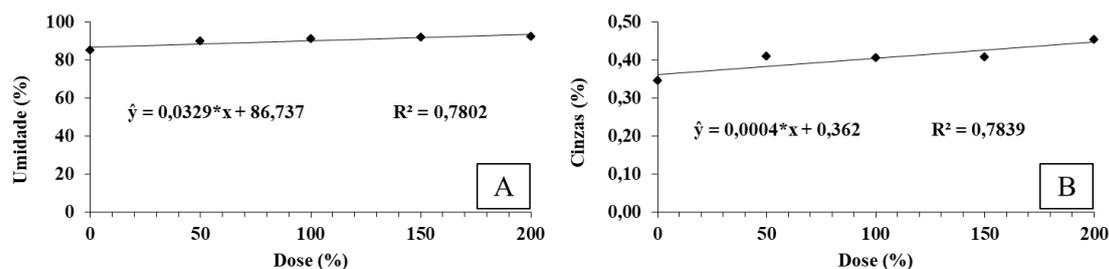


Figura 4. Umidade (A) e cinzas (B) em raízes tuberosas de yacon, em função das diferentes doses de potássio (Alegre-ES, 2020).

O aumento nas doses de potássio promoveu aumento na umidade em raízes de yacon, conservando os benefícios de ser um alimento com alto teor de água e baixo valor calórico (SANTANA; CARDOSO, 2008). É sabido que a umidade pode variar em função de uma gama de fatores interativos, dentre eles, as condições de campo, a cultivar, a safra e não menos importante, a adubação (POPP, 2005). Resultados obtidos por Silva (2017) apontaram que a dose mais alta de potássio proporcionava maiores porcentagens de umidade em rizomas de inhame. O mesmo foi observado por Quadros et al. (2009) em tubérculos de batata, onde o incremento da dose ocasionou no aumento da umidade.

Analisando do ponto de vista de conservação pós-colheita, o maior teor de umidade não seria interessante devido à maior dificuldade de conservação do produto e maior taxa de deterioração, o que diminuiria a qualidade final (SILVEIRA, 2008; SHEKHAR et al., 2015). No entanto, o percentual de aumento foi pequeno (8% para a maior dose em relação a testemunha), e com o armazenamento rápido e adequado (condições que evitem a desidratação das raízes) (VALENTOVÁ et al., 2007), acredita-se que não haveriam perdas significativas na comercialização.

Os maiores teores de cinzas estão relacionados com o aumento no teor de minerais presentes nas raízes devido à adubação potássica. Essa resposta já foi observada por Freitas (2010) na cultura do repolho e Quadros et al. (2009) com a batata comum. Inclusive, segundo Oliveira et al. (2015), isso aponta para a necessidade de atenção para o fornecimento de potássio para a planta, através de uma nutrição balanceada, pois a qualidade do produto produzido (tubérculo, rizomas e raízes tuberosas), pode ser diferente em função da adubação realizada.

Na análise de textura, somente os valores de gomosidade não apresentaram relação com as doses de potássio aplicadas, demonstrando que possivelmente há independência

entre eles, pois não houve ajuste nos modelos que foram testados. Para a coesividade, dureza, índice de mastigabilidade e adesividade notou-se diminuição com o aumento das doses de potássio. Já para a elasticidade houve aumento com o incremento das doses (Figura 5).

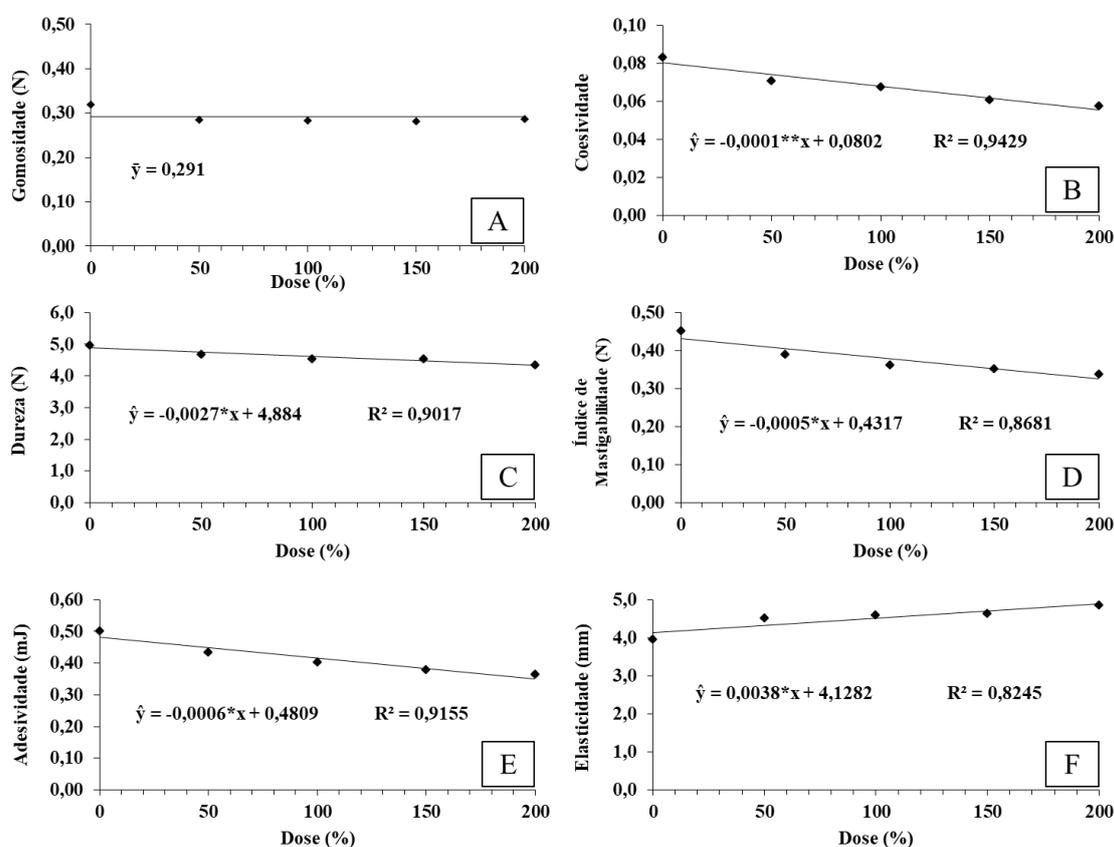


Figura 5. Gomosidade (A), coesividade (B), dureza (C), índice de mastigabilidade (D), adesividade (E) e elasticidade (F) das raízes tuberosas de yacon, em função das diferentes doses de potássio (Alegre-ES, 2020).

A gomosidade está relacionada com a força requerida para desintegrar o alimento, ou seja, dissociar sua massa. Para Bolzan e Pereira (2017), ela está associada à dureza e coesividade, onde sua variação irá ocorrer em função destes. Nesse caso, apesar de ter ocorrido um decréscimo linear da coesividade e da dureza com o aumento das doses de potássio, esse não foi o suficiente para alterar a gomosidade nas raízes tuberosas de yacon. Ou seja, há uma diminuição na capacidade do alimento (raízes de yacon) de suportar ruptura (medida de coesividade), assim como há menor demanda de força para obstringir esse alimento (medida de dureza) (ATALLAH; MORSY, 2017). Em uma análise de conjuntura sensorial, significa que, com a aplicação de doses de potássio, as

raízes ficaram mais macias, sendo necessária menor força (redução em torno de 25% com a maior dose de potássio) para espreme-las entre os dentes molares, quando realizada a primeira mordida (GARRIDO et al., 2015).

O mesmo efeito foi notado no índice de mastigabilidade, que é a força requerida para triturar um alimento sólido até a sua deglutição. Em termos sensoriais, significa que será menor a força necessária para mastigar as raízes (redução em torno de 24% com a maior dose de potássio), para reduzi-la a consistência adequada para ser engolida (CURI et al., 2017). Resultados que demonstram ganhos na qualidade sensorial das raízes de yacon, com a aplicação de potássio.

A diminuição na adesividade ocorreu por consequência do aumento da umidade, que segundo Rahman e Al-Farsi (2005) são características inversamente proporcionais, atrelada a diminuição da dureza, que segundo Dias et al. (2011) são características diretamente proporcionais. Em termos sensoriais, significa que, com a aplicação de doses de potássio, a massa do alimento (raízes) seria de mais fácil ingestão, por menor força de aderência aos lábios e dentes (redução em torno de 28% com a maior dose de potássio), sendo mais um ganho na qualidade sensorial das raízes de yacon produzidas.

O resultado do aumento da elasticidade no alimento (raiz de yacon) era esperado, já que essa característica é inversamente proporcional à dureza, coesividade e mastigabilidade (Santos et al., 2016). A maior elasticidade (incremento de 18% na dose máxima) contribuiu para apontar que ocorreram ganhos na qualidade das raízes tuberosas produzidas a partir da adubação com potássio.

A textura é um fator importante para a aceitação sensorial dos alimentos, sendo um critério de qualidade (CHEN; OPARA, 2013). Sendo assim, os resultados obtidos, permitem afirmar que a adubação potássica confere melhorias nas características físico-químicas das raízes tuberosas da yacon, trazendo maior qualidade ao produto final.

CONCLUSÃO

A adubação potássica conferiu melhorias nas características químicas (maiores teores de sólidos solúveis e menor acidez) e físicas (menor dureza, índice de mastigabilidade, coesividade e adesividade) das raízes tuberosas da yacon trazendo maior qualidade ao produto final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATALLAH, A. A.; MORSY, K. M. Effect of incorporating royal jelly and bee pollen grains on texture and microstructure profile of probiotic yoghurt. **Journal of Food Processing and Technology**, v. 8, n. 9, p. 1-4, 2017.

BARRETO, C. F.; FERREIRA, L. V.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; CANTILLANO, R. F. F.; VIZZOTTO, M.; NAVA, G.; ANTUNES, L. E. C. Potassium fertilization in peach fruit quality. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 19, n. 4, p. 420-427, 2020.

BOLZAN, A. B.; PEREIRA, E. A. Elaboração e caracterização de doce cremoso de caqui com adição de sementes da araucária. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 1, 2017.

CAETANO, B. F.; DE MOURA, N. A.; ALMEIDA, A. P.; DIAS, M. C.; SIVIERI, K.; BARBISAN, L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 12, p.436-440, 2016.

CARVALHO, A. H. O.; DE OLIVEIRA, F. L.; LIMA, W. L.; TEIXEIRA, A. G.; PEDROSA, J. L. F.; PARAJARA, M. C. Production and profitability of yacon grown in different spatial arrangements. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, p.1214 - 1220, 2020.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 6, p. 497-507, 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CORREA NETO, R. S.; FARIA, J. A. F. Fatores que influenciam na qualidade do suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, pág. 153-161, 1999.

CURI, P. N.; CARVALHO, C. S.; SALGADO, D. L.; PIO, R.; PAQUAL, M.; SOUZA, F. B. M.; SOUZA, V. R. Influence of different types of sugars in physalis jellies. **Food and Science Technology**, v. 37, n. 3, p. 349-355, 2017.

DELGADO R.; MARTÍN, P.; ÁLAMO, M.; GONZÁLEZ, M. R. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation vineyard nitrogen and potassium fertilization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 7, p. 623-630, 2004.

DIAS, C. S.; BORGES, S. V.; QUEIROZ, F.; PEREIRA, P. A. P. Influência da temperatura sobre as alterações físicas, físico-químicas e químicas de geleia da casca de banana (*Musa spp.*) cv. Prata durante o armazenamento. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 70, n. 1, p. 28-34, 2011.

DIONÍSIO, A. P.; SILVA, L. B. C.; VIEIRA, N. M.; GOES, T. S.; WURLITZER, N. J.; BORGES, F. M.; FIGUEIREDO, R. W. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v.77, p.171-176, 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 422 p. 2008.

FREITAS, L. M. **Efeito de diferentes doses de nitrogênio, potássio e silício na incidência da traça-das-crucíferas em repolho**. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2010. (PROCURAR O ARTIGO)

GARRIDO, J. I., LOZANO, J. E., & GENOVESE, D. B. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. **Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 325-332, 2015.

GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Qualidade de frutos de melancia em função de fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 647-650, 2004.

GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; UYEDA, C. A. Qualidade pós-colheita de variedades de melões produzidos sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 398-405, 2010.

HERMANN M; FREIRE I; PAZOS C. Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world: Program report 1997–98. Lima (Perú): **International Potato Center**. p. 425-432, 1999.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed./ 1ª ed. Digital. São Paulo. 2008. 1020p.

ICIER, F.; ILICALI, C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. **Food Research International**, v. 38, p. 1135-1142, 2005.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSITÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Boletim Agrometeorológico**. Disponível em:

<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/boletim-agrometeorologico-dados?estacao=iuna_auto_inc.xls&municipio=iuna>. Acesso em 20 jan. 2021.

KADER, A. A. **Quality factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops**. In: KADER, A. A. Postharvest Technology of Horticultural Crops. California: University of California, p. 118-121, 1978.

KLAVONS, J.A.; BENNETT, R.D.; VANNIER, S.D. Physical and chemical nature of pectin associated with commercial orange juice cloud. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, n. 2, p. 399-401, 1994.

KUMAR, P.; PANDEY, S.K.; SINGH, B.P.; SINGH, S.V.; KUMAR, D. Influence of source and time of potassium application on potato growth, yield, economics and crisp quality. **Potato Research**, v. 50, n. 1, p. 1-13, 2007.

LIN D, HUANG D, WANG S. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 1, p. 53-60, 2001.

LOBO, A. R.; GAIEVSKI, E. H. S.; DE CARLI, E.; ALVARES, E. P.; COLLI, C. Fructo-oligosaccharides and iron bioavailability in anaemic rats: The effects on iron species distribution, ferroportin-1 expression, crypt bifurcation and crypt cell proliferation in the caecum. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 8, p. 1286–1295, 2014.

MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Evaluation of diferente bleaching methods applied to yacon. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 7, p. e13276, 2019.

MALAVOLTA, E. VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

MIN, S.; SASTRY, S. K.; BALASUBRAMANIAM, V.M. In situ electrical conductivity measurement of select liquid foods under hydrostatic pressure to 800MPa. **Journal of Food Engineering**, v.82, p. 489-497, 2007.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA, O. P. R.; LEONEL, M.; GUIMARÃES, L. M. P.; ANDRADE, G. P. **Inhame (*Dioscorea spp*)**. In: LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. Culturas amiláceas: Batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa. Botucatu-SP: CERAT/UNESP, p. 121-182, 2015.

PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage and particle size. **Journal of Food Process Engineering**, n. 14, p. 247-260, 1991.

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.

PELACANI, V.P. **Aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga**. Dissertação (Mestrado) – IBILCE, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2002.

PEREIRA, J. DE A. R.; BARCELOS, M. F. P.; FERREIRA, E. B.; PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C. Changes in glucose levels and fecal excretion of lipids due to consumption of yacon flour. **Nutrition & Food Science**, v. 46, n. 6, p. 791– 802, 2016.

POPP, P. R. **Batata para processamento - aptidão da matéria prima para processamento**. Curitiba, 2005.

PRETTY, K.M. **O potássio e a qualidade da produção agrícola**. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, p. 177-194, 1982.

QUADROS, D. A.; IUNG, M. C.; FERREIRA, S. M. R.; FREITAS, R. J. S. Chemical composition of potato tubers for processing, grown in different levels and sources of potassium. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 316-323, 2009.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

RAHMAN, M. S.; AL-FARSI, S. A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 505-511, 2005.

RAIJ, B. **Potássio: necessidade e uso na agricultura moderna**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1990. 45 p.

SALDAÑA, E. SICHE, R.; CASTRO, W.; HUAMÁN, R.; QUEVEDO, R. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. **LWT - Food Science and Technology**, v.59, n.2, p. 1220–1226, 2014.

SAMPAIO, A. C. F.; SILVA, E. S.; CARMO, I. L. G. S.; MONTEIRO NETO, J. L. L.; MORINIGO, E. E. V.; MEDEIROS, R. S. **Doses de fósforo e potássio na produção e qualidade de frutos de melancia no Cerrado de Roraima**. In: Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo, Natal – RN, 2015.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 898–905, 2008.

SANTOS, K. C.; GONÇALVES, R. G.; ALEGRIA, C.; ALMEIDA, D. P. F. Evolução do perfil sensorial de textura de pera Rocha durante o período de armazenamento. **Actas Portuguesas de Horticultura**, nº 28, 2. ed., p. 133-138, 2016.

SANTOS, L. P. D. **Modelagem da recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio e métodos de aplicação de fósforo para a cultura da batata**. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2016.

SHEKHAR, S.; MISHRA, D.; BURAGOHAİN, A. K.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, N. Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Food Chemistry**, v. 173, p. 957-965, 2015.

SILVA, O. P. R. **Produção e qualidade de inhame (*dioscorea* sp.) em função de doses de nitrogênio e potássio**. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

SILVA, M., F., G.; DIONÍSIO, A. P.; CARIOCA, A. A. F.; ADRIANO, L. S.; PINTO, C. O.; ABREU, F. A. P.; WURLITZER, N. J.; ARAÚJO, I. M.; GARRUTI, D. D.; PONTES, D. F. Yacon syrup: Food applications and impact on satiety in healthy volunteers. **Food Research International**, v. 100, p. 460–467, 2017.

SILVA, D. M. N.; LIMA, R. R.; OLIVEIRA, F. L.; TEIXEIRA, L. J. Q.; MACHADO, L. C. A. Physical and chemical characterization of yacon tuberous roots at different altitudes and planting times. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 36, n. 2, p. 199-204, 2018.

SILVEIRA, M. A. **Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol**. In: Instituto Euvaldo Lodi. Álcool combustível: Série Indústria em Perspectiva. Brasília: IEL, 2008. p. 109-122.

SOUZA, D. **Estudo das Propriedades Físicas de Polpas e Néctares de Pequenos Frutos**. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento

de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

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

VALENTOVÁ, K; STEJSKAL, D; BARTEK, J; DVORACKOVA, S; KREN, V; ULRICHOVA, J. Maca (*Lepidium meyenii*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in combination with silymarin as food supplements: in vivo safety assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v.46, n.3, p.1006–1013, 2007.

VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B. P.; MARTINO, H. S. D. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, p 188-193, 2010.

VASCONCELOS, C. M.; OLIVEIRA, E. B.; ROSSI, S. N.; ARANTES, L. F.; PUSCHMANN, R.; CHAVES, J. B. P. Evaluating strategies to control enzymatic browning of minimally processed yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 9, p. 1982-1994, 2015.

VAZ-TOSTES, M. G.; VIANA, M. L.; GRANCIERI, M.; LUZ, T. C. S.; DE PAULA, H.; PEDROSA, R. G.; COSTA, N. M. B. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v. 30, n. 6, p. 666– 672, 2014.

VELOSO, C.A.C.; OEIRAS, A. H.; CARVALHO, E. J. M.; SOUZA, F. R. S. Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio calcário em latossolo amarelo do nordeste paraense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n. 2, p. 396-402, 2001.

VIEIRA, J. A. G.; CARTAPATTI-STUCHI, G. A. S. Efeito do tamanho das partículas e da tensão aplicada sobre a condutividade elétrica e o tempo de descongelamento do suco de manga. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 35, p. 99-109, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados que foram encontrados, observou-se que as plantas de yacon tem comportamento semelhante ao de muitas olerícolas, em que a disponibilidade de potássio no solo resulta em absorção intensiva, mesmo sem a planta necessitar.

Em termos gerais, pode-se dizer que a dose de $357,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de KCl (100% do valor de referência) é a mais apropriada para o cultivo da yacon pois, apesar de ocorrerem ganhos na qualidade das raízes com o aumento da dose, estes ocorrem em porcentagens menores quando comparadas com os ganhos produtivos na dose de 100%.

A aquisição desses resultados é um grande avanço para o estabelecimento da yacon na região, pois a partir desse ponto é possível obter uma recomendação de adubação potássica ideal, observando-se que abaixo ou acima dessa dose, o desenvolvimento das plantas é prejudicado.