

**ESTUDOS QUÍMICO E BIOQUÍMICO DO
YACON (*Smallanthus sonchifolius*) *IN NATURA*
E PROCESSADO E INFLUÊNCIA DO SEU
CONSUMO SOBRE NÍVEIS GLICÊMICOS E
LIPÍDEOS FECAIS DE RATOS**

JUCIANE DE ABREU RIBEIRO

2008

JUCIANE DE ABREU RIBEIRO

**ESTUDOS QUÍMICO E BIOQUÍMICO DO YACON
(*Smallanthus sonchifolius*) IN NATURA E PROCESSADO
E INFLUÊNCIA DO SEU CONSUMO SOBRE NÍVEIS
GLICÊMICOS E LIPÍDEOS FECAIS DE RATOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação “Stricto Sensu” em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:

Profa. Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ribeiro, Juciane de Abreu.

Estudos químicos e bioquímicos do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) *in natura* e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos. / Juciane de Abreu Ribeiro. -- Lavras : UFLA, 2008.

166 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos.

Bibliografia.

1. Yacon. 2. Farinha. 3. Fibra alimentar. 4. Glicemia. 5. Lipídios fecais.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD- 664.072

JUCIANE DE ABREU RIBEIRO

**ESTUDOS QUÍMICO E BIOQUÍMICO DO YACON
(*Smallanthus sonchifolius*) IN NATURA E PROCESSADO
E INFLUÊNCIA DO SEU CONSUMO SOBRE NÍVEIS
GLICÊMICOS E LIPÍDEOS FECAIS DE RATOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação “*Scripto-Sensu*” em Ciência dos Alimentos, para obtenção do Título de “Mestre”.

APROVADA em 17 de março de 2008

Dr. Raimundo Vicente de Sousa

UFLA

Dra. Adelir A. Saczk

UFLA

Dra. Maria de Fátima Piccolo Barcelos
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus,

À memória da minha irmã querida, Franciane, que sempre demonstrou acreditar em minha capacidade,

DEDICO ESTE TRABALHO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela receptividade para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À UNIPAC- Barbacena pela disponibilidade e cooperação no estudo *in vivo*.

Aos Departamentos de Química e Zootecnia pela disponibilização de equipamentos para realização de análises.

À Professora Maria de Fátima Piccolo Barcelos, pela orientação, confiança e amizade desde a fase de voluntariado e durante todo o curso de mestrado.

Ao Professor Raimundo Vicente de Sousa, do Departamento de Medicina Veterinária, pelos ensinamentos, amizade e cooperações durante este trabalho.

À Professora Adelir A Saczk, pelo incentivo ao trabalho, amizade e carisma.

Ao Professor Eric Batista Ferreira pela disposição para as análises estatísticas.

Aos meus pais, Maria e José Hilton, que sempre depositaram em mim grande confiança e apoio constante, sem os quais eu dificilmente poderia realizar meus sonhos profissionais.

À minha irmã Maíra pela amizade de sempre e pelos auxílios na condução dos trabalhos.

Ao meu sobrinho e afilhado Lucas por agraciar minha vida com sua luz, amor e carinho.

Ao meu namorado Michel, companheiro de todos os momentos. Seu apoio foi a segurança que me levou chegar até aqui. Muito do que sei hoje devo a você, tanto pessoal quanto profissionalmente. Obrigada por encher minha vida de coisas boas.

Aos meus avós Geraldo Pereira de Abreu e Marta Ely de Abreu pelo carinho de uma vida toda. Aos avós José Ribeiro e Marina do Perpétuo Socorro “in memoriam” por terem sido pessoas de grandeza em minha vida.

Às meninas Brenda e Brunna que trazem alegria e aprendizado para os meus dias.

Ao Fernando, Gleisy, Michelle e Luidi pela amizade e carinho.

Às amigas Alessandra e Giselle, que apesar da distância estarão sempre no meu coração.

Aos companheiros e amigos do Laboratório de Bioquímica Nutricional, Andréa Paolucci de Paiva, Sueli Ciabotti, Luiz Gustavo V. Cardoso, Hessel M. Lima, Andreliana Lima e Marcélia pelo companheirismo.

À voluntária Jacyara e à estagiária Carla pelos auxílios nos experimentos.

Ao Abel Gonzáles pela grande ajuda e atenção e a Liliane e Meiryene pelo apoio nas análises cromatográficas.

Às técnicas de laboratório Cleusa, Sandra e Tina do DCA, pelos preciosos apoios técnicos.

Enfim, a todos aqueles que me apoiaram para alcançar mais esse objetivo de vida.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO GERAL	ii
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1: Características do yacon (<i>smallanthus sonchifolius</i>) e efeitos de seu consumo	1
1 Introdução geral	2
1.1 Objetivo geral	4
1.2 Objetivos específicos	4
2 Referencial teórico	6
2.1 Origem e utilização do yacon	6
2.2 Características e composição química do yacon	9
2.3 Alimentos funcionais	11
2.4 Frutanos: inulina e fruto-oligossacarídeos	13
2.5 Fibra alimentar	19
2.6 Efeitos benéficos do consumo de yacon e possíveis mecanismos de ação	21
2.7 Aspectos tecnológicos da inulina e FOS	25
2.8 Substâncias antinutritivas e/ou tóxicas presentes naturalmente em alimentos	28
2.9 Enzimas polifenoloxidase e peroxidase	32
2.10 Ácidos fenólicos	35
2.11 Influência do índice glicêmico na obesidade e diabetes	40
Referências Bibliográficas	44

CAPÍTULO 2: Composição química e aspectos bioquímicos do yacon (Smallanthus sonchifolius) e de suas farinhas	63
Resumo	64
Abstract.....	65
1 Introdução	67
2 Material e métodos.....	69
2.1 Obtenção das farinhas da casca e da polpa de yacon	69
2.2 Rendimento das farinhas	70
2.3 Análises químicas	71
2.4 Análises bioquímicas	74
3 Resultados e discussão	76
3.1 Rendimento das farinhas da polpa e da casca de yacon	76
3.2 Análises químicas	78
3.3 Análises bioquímicas da polpa e casca de yacon in natura	94
4 Conclusões	97
Referências bibliográficas.....	98

CAPÍTULO 3: Identificação e quantificação de ácidos fenólicos em yacon e produtos derivados.....	107
Resumo	108
Abstract.....	109
1 Introdução	110
2 Material e métodos.....	111
2.1 Preparo dos padrões para as análises cromatográficas	111
2.2 Extração das amostras	111
2.3 Análises cromatográficas	112
2.4 Determinação e quantificação dos ácidos fenólicos em amostras de yacon	113

2.5 Apresentação descritiva dos dados.....	113
3 Resultados e discussão.....	114
3.1 Avaliação qualitativa dos ácidos fenólicos do yacon.....	114
3.2 Avaliação quantitativa dos ácidos fenólicos no yacon.....	119
3.3 Análise dos resultados de quantificação de ácidos fenólicos em yacon.....	122
4 Conclusões.....	129
Referências bibliográficas.....	130

CAPÍTULO 4: Estudo da influência do consumo de yacon sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.....	
Resumo.....	133
Abstract.....	134
1 Introdução.....	136
2 Material e métodos.....	138
2.1 Aquisição do yacon e produção da farinha da polpa de yacon.....	139
2.2 Ensaio <i>in vivo</i>	139
3 Resultados e discussão.....	140
3.1 Consumo alimentar, ganho de peso e coeficiente de eficácia alimentar.....	146
3.2 Glicemia de jejum.....	148
3.3 Glicemia pós- prandial e índice glicêmico das dietas.....	151
3.4 Lipídeos fecais.....	158
4 Conclusões.....	160
Referências bibliográficas.....	161
Anexos.....	165

LISTA DE ABREVIATURAS

ATT	Acidez total titulável
CEA	Coefficiente de eficiência alimentar
CMD	Consumo médio diário
CY	Casca de yacon
FAI	Fibra alimentar insolúvel
FAS	Fibra alimentar solúvel
FAT	Fibra alimentar total
FCY	Farinha da casca de yacon
FOS	Fruto-oligossacarídeos
FPY	Farinha da polpa de yacon
GMD	Ganho médio diário
HPLC	Cromatografia líquida de alta eficiência
IG	Índice Glicêmico
LDL-c	Lipoproteína de baixa densidade
PER	Peroxidase
PFO	Polifenoloxidase
PY	Polpa de yacon
SST	Sólidos solúveis totais

RESUMO GERAL

RIBEIRO, Juciane de Abreu. **Estudos químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.** 2008. 166p. Dissertação – (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Pesquisas sobre alimentos que possam auxiliar na prevenção e tratamento de patologias, principalmente as doenças crônicas não-transmissíveis, estão sendo cada vez mais freqüentes. Procurando aumentar o conhecimento sobre o yacon, este trabalho teve por objetivos estudar essa raiz e avaliar a influência da farinha da polpa de yacon na possível redução da glicemia pós-prandial e aumento no conteúdo de lipídeos fecais em animais experimentais. Para o yacon e suas farinhas fez-se quatro repetições para as análises da composição centesimal, seguindo-se os métodos propostos pela AOAC (1990), conteúdo de minerais, determinação de fibra alimentar, pH, SST, ATT, fatores antinutricionais e tóxicos. Além de avaliar atividade de polifenoloxidase (PFO) e peroxidase (PER) para a casca e polpa de yacon *in natura* com quatro repetições. Na polpa e casca *in natura* e respectivas farinhas foram identificados e quantificados os ácidos fenólicos (clorogênico, caféico e ferúlico) por HPLC com detector UV-vis fixado em 330 nm e as amostras foram injetadas utilizando uma coluna de fase reversa (250 x 4,6 mm, 5 µm) conectada a uma pré-coluna analítica, sendo que as amostras foram extraídas com BHT 0,1% em metanol e ácido acético 10% e a fase móvel (FM) utilizada foi metanol 100% (grau HPLC)- FM-A e solução de ácido acético 2% - FM-B e foi empregado um sistema do tipo gradiente. O fluxo aplicado foi constante em 1,1 mL min⁻¹ e o volume de injeção tanto dos padrões quanto das amostras foi de 20 µL. A quantificação de cada um dos ácidos fenólicos foi realizada utilizando-se curvas analíticas. As análises foram feitas em triplicata. Para a avaliação do efeito da farinha da polpa de yacon sobre glicemia pós-prandial, lipídeos fecais, desenvolvimento ponderal, consumo de dieta e coeficiente de eficácia alimentar, 24 ratos wistar albinos machos, pesando inicialmente 200-250g (n= 6/grupo), foram tratados por 17 dias com dieta contendo farinha da polpa de yacon, seguindo os padrões da AIN-93M, fazendo-se detrimento ao amido. O ensaio foi conduzido com os grupos: controle, 5%, 10% e 15% de farinha da polpa de yacon. A análise da glicemia de jejum foi realizada nos animais dos diferentes

¹ Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Adelir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL, Michel Cardoso de Angelis Pereira – EAFB.

grupos após jejum de 12h e assim permaneceram até 15h de jejum. Depois desse período, foram fornecidos 2g das dietas específicas para cada grupo para avaliação da glicemia pós-prandial em intervalos de 15 min até completar 2h. A punção sanguínea foi feita na calda dos animais, utilizando aparelhos glicosímetros e fitas Accu-Chek[®]. As análises estatísticas foram realizadas pelo método de regressão, sendo os valores de $p < 0,05$, considerados diferenças significativas. A polpa e farinha da polpa de yacon apresentaram maiores percentuais de umidade e carboidratos em relação à casca e farinha da casca. Por outro lado, foram observadas concentrações numericamente maiores de lipídeos, proteínas, fibras e cinzas para casca e farinha da casca em comparação com polpa e farinha da polpa de yacon. O yacon e produtos derivados representam excelentes fontes de fibras e considerável valor nutricional. As quantidades encontradas em de ácido clorogênico foram de 39,0; 294,0; 9,0 e 31,0 mg kg⁻¹ de matéria integral na PY, FPY, CY e FCY, respectivamente. Já o ácido caféico apresentou em matéria integral os teores de 27,0 mg kg⁻¹ na PY; 417,0 mg kg⁻¹ na FPY; 12,0 mg kg⁻¹ na CY e 56,0 mg kg⁻¹ na FCY. O ácido ferúlico foi encontrado nas concentrações de 3,0; 30,0; 2,0 e 5,0 mg kg⁻¹ de matéria integral na PY, FPY, CY e FCY, respectivamente. A FPY e PY apresentaram-se como as melhores fontes dos ácidos fenólicos e o processo de desidratação intensificou a concentração dos ácidos fenólicos. Os diferentes tratamentos com FPY não influenciaram no CMD, GMD e CEA dos animais. Pôde-se observar redução do IG das dietas com adição de FPY, sendo o efeito equivalente para todas as proporções deste ingrediente. Conclui-se que a FPY reduz a glicemia pós-prandial, representando uma ferramenta na prevenção e tratamento de diabetes, obesidade e outras situações específicas como exercícios físicos. Além disso, o incremento de FPY em quantidades crescentes nas dietas causou arraste proporcional de lipídeos para as fezes dos animais.

GENERAL ABSTRACT

RIBEIRO, Juciane de Abreu. **Chemical and biochemical studies of *in natura* and processed yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and influence of its consumption on glucemic levels and fecal lipids of rats.** 2008. 166p. Dissertation – (Master in Food Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

Research on foods which can aid in the prevention and treatment of pathologies, mainly the non-transmissible chronic diseases, have been being more and more frequent. Seeking to increase the knowledge on yacon, this work was aimed to study that root and evaluate the influence of yacon pulp flour in the possible reduction of post-prandial glucemia and increase in fecal lipid content in experimental animals. For yacon and its flours, four replicates were done for the analyses of the centesimal composition, following the methods proposed by AOAC (1990), mineral content, determination of food fiber, pH, SST, ATT, anti-nutritional and toxic factors. In addition to evaluating polyphenoloxidase and peroxidase activity (PFO) (PER) for both the *in natura* yacon casca and pulp with four replicates. Phenolic acids (chlorogenic, caffeic and ferulic) were identified and quantified by HPLC and UV-vis detector for *in natura* pulp and casca and respective flours. For evaluation of the effect of yacon pulp flour on post-prandial glucemia, fecal lipids, ponderal development, diet intake and food efficacy coefficient, 24 albino, male, Wistar rats, weighing initially 200-250g (n= 6/group), were treated for 17 days with a diet containing yacon pulp flour, following the AIN-93M standards, causing detriment to the starch. The trial was conducted with the control groups, 5%, 10% and 15% of yacon pulp flour. The analysis of fasting glucemia was performed in the animals of the different groups after 12 hour-fasting and so remained till 15 hours of fasting. After that period, 2g of the particular diets were given to each group for evaluation of post-prandial glucemia in 15 minute-intervals to complete 2 hours. The blood puncture was done on the animals' tail, utilizing glicosímetros apparatuses and Accu-Chek[®] strips. The statistical analyses were performed by the regression method, the values of p<0.05, being with 0.1% BHT in methanol and 10% acetic acid, a clean-up was performed and afterwards, a filtering in a 0.45µm membrane. The analyses were done in a HPLC system with spectrophotometric detector in the UV/Vis region with a wavelength set at

¹ Guidance Committee: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Adviser), Adedir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL, Michel Cardoso de Angelis Pereira – EAFB.

330nm. The samples were injected in a column (250 x 4.6 mm, 5 μ m) connected to an analytic pre-column and the mobile phase utilized was made up of the solvents: 100% methanol (HPLC degree) solvent A – and solution of 2% aqueous acetic acid- solvent B and was employed in a gradient-type system. The flow applied was constant at 1.1 mL. min⁻¹ and the volume of injection both of the standards and of the samples were of 20 μ L. The quantification of each of the phenolic acids was done by utilizing analytic curves which were determined by plotting the peak areas of each of the compounds versus its concentration utilized. The analyses were in triplicate. Both the yacon pulp and pulp flour presented higher percents of moisture and carbohydrates in relation to casca and casca flour. On the other hand, numerically higher concentrations of lipids, proteins, fibers and ashes for casca and casca flour as compared with yacon pulp and pulp flour. Yacon and derived products represent excellent sources of fibers and considerable nutritional value. The presence of phenolic acids such as chlorogenic, caffeic and ferulic was identified, the average retention times being of 18.3; 19.5 and 27.6 minutes, respectively. The amounts found of chlorogenic acid were of 39,0; 294,0; 9,0 and 31,0 mg kg⁻¹ of integral matter in PY, FPY, CY and FCY, respectively. However, caffeic acid presented in integral matter, the contents of 27,0mg kg⁻¹ in PY; 417,0 mg kg⁻¹ in FPY; 12,0 mg kg⁻¹ in CY and 56,0 mg kg⁻¹ in FCY. Ferulic acid was found at the concentrations of 3,0; 30,0; 2,0 and 5,0 mg kg⁻¹ of integral matter in PY, FPY, CY and FCY, respectively. Both FPY and PY presented themselves as the best sources of phenolic acids and the dehydration process enhanced the concentration of phenolic acids. The different treatments with FPY did not influence in CMD, GMD and CEA of the animals. Reduction of the IG of the diets with addition of FPY could be observed, the effect being equivalent to all the proportions of this foodstuff. It follows that FPY reduces post-prandial glucemia, standing for a tool in preventing and treatment of diabetes, obesity and other particular situations as physical exercises. In addition, the increment of FPY in growing amounts in the diets caused a proportional arraste of lipids for the animals' feces.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS DO YACON (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) E EFEITOS DE SEU CONSUMO

1 INTRODUÇÃO GERAL

A relação entre as doenças crônicas não-transmissíveis e a alimentação tem se consolidado cada vez mais. Com o intuito de prevenção dessas patologias, a busca por substâncias em fontes alimentares que apresentem benefícios à saúde têm sido crescente no meio científico, objetivando a melhoria da qualidade de vida da população e redução de custos para os sistemas administrativos de saúde. É nesse contexto que pesquisadores têm o desafio de desvendar as características de novos alimentos e substâncias.

Nos dias atuais são comercializados diversos produtos alimentícios com características funcionais, no entanto, na maioria das vezes, os preços a eles atribuídos são inacessíveis para maior parte da população brasileira, fato que inviabiliza a utilização dos mesmos. Desse modo, torna-se imprescindível a pesquisa sobre alimentos funcionais menos dispendiosos para que possam ser empregados na dieta da população menos favorecida financeiramente, visando auxiliar na prevenção de doenças crônicas não-transmissíveis, além de apresentar-se como fonte de nutrientes.

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz tuberosa que há muito tempo é consumido pelo homem, principalmente, em países da região andina, mas têm sido bastante disseminado por várias partes do mundo, inclusive no Brasil, uma vez que é adaptável ao clima, altitude e tipo de solo (National Research Council, 1989; Grau & Rea, 1997).

Esse alimento que possui sabor adocicado é conhecido principalmente pelo seu alto conteúdo de frutanos que incluem inulina e fruto-oligossacarídeos que se comportam como fibras solúveis e apresentam propriedades que beneficiam à saúde, dentre as quais pode-se citar: redução de colesterol plasmático, diminuição da glicemia pós-prandial, eliminação de bactérias patogênicas intestinais, aumenta renovação de células endoteliais da mucosa

intestinal, aumento da absorção de alguns minerais e influência regulatória sobre a função intestinal (Guigoz et al., 2002).

Também possui considerável concentração de ácidos fenólicos como o ferúlico, clorogênico e caféico, os quais apresentam atividade antioxidante, diminuindo o estresse oxidativo e, por sua vez, auxiliando na prevenção de algumas patologias crônicas não-transmissíveis como câncer, doenças cardiovasculares, entre outras. Além, disso possui baixo valor calórico, fato que pode auxiliar em tratamentos de redução de peso ou mesmo na prevenção de obesidade (Simonovska et al., 2003).

1.1 Objetivo geral

Estudar química e bioquimicamente o yacon e avaliar a influência do consumo de dietas contendo farinha da polpa de yacon em diferentes concentrações sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar as farinhas da casca e polpa de yacon e determinar o rendimento das mesmas;
- Avaliar a composição centesimal do yacon (polpa e casca) *in natura* e em forma de farinhas;
- Qualificar e quantificar o conteúdo de fibra alimentar presente no yacon e suas farinhas;
- Verificar a presença de fatores antinutricionais (taninos, oxalato e nitrato) existentes no yacon;
- Avaliar a atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase no yacon *in natura* (casca e polpa);
- Identificar e quantificar ácidos fenólicos na polpa e casca *in natura* e nas respectivas farinhas derivadas do yacon;
- Analisar o efeito do consumo de dietas contendo ou não a farinha da polpa de yacon sobre o desenvolvimento ponderal e coeficiente de eficácia alimentar de ratos;
- Avaliar a influência da ingestão da farinha da polpa de yacon sobre a glicemia de jejum de ratos;

- Verificar a glicemia pós-prandial em diferentes tempos e construir a curva glicêmica dos animais;
- Calcular o índice glicêmico das dietas contendo farinha da polpa de yacon;
- Analisar o conteúdo de lipídeos fecais dos animais experimentais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e utilização do yacon

O yacon, cientificamente conhecido como *Smallanthus sonchifolius*, é uma espécie originária da região andina da América do Sul, pertencente à família *Asteraceae* ou *Compositae*, cuja família abrange 19 espécies americanas, sendo o yacon o mais importante e com maior potencial para atrair o interesse mundial devido às propriedades funcionais e dietéticas desta cultura. Antigamente recebia a denominação de *Polymnia sonchifolia* (Asami et al., 1991; Zardini, 1991; Graefe et al., 2004).

Na região dos vales andinos (Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e noroeste da Argentina) é cultivado desde a antiga civilização Inca, e utilizado na alimentação humana. É também conhecido como “aricoma” ou “jicama”, no Peru e Equador e como “yacon strawberry”, nos Estados Unidos (National Research Council, 1989; Montiel, 1996; Grau & Rea, 1997).

O yacon, considerado pelos primitivos habitantes dos Andes como sendo uma fruta, apesar de sua suculência e sabor doce, tem relativamente baixo valor energético. Esses fatores acabam por justificar a importância potencial do yacon na indústria alimentícia como adoçante alternativo à sacarose e de produtos dietéticos por conter baixas calorias. Na Bolívia, as raízes do yacon são consumidas por pessoas que sofrem de diabetes ou de vários distúrbios digestivos e renais (Vilhena et al., 2000; Aybar et al., 2001).

No Japão, o yacon foi introduzido por volta de 1985 (Asami et al., 1991) e rapidamente ganhou atenção. É extremamente adaptável quanto ao clima, altitude e tipo de solo e encontra utilização principalmente na alimentação humana (National Research Council, 1989). Além disso, apresenta alta

produtividade, podendo atingir um rendimento de raízes superior a 70 ton/ha (Nieto, 1991; Quinteros, 2000).

As raízes tuberosas do yacon são fusiformes e podem variar consideravelmente de sabor, tamanho, formato e cor. Possuem aparência similar à batata doce e a unidade pode pesar de 100 a 1200 g (Silva et al., 2003 citado por Silva & Cândido, 2004), conforme mostra a Figura 1. A cor da casca varia do marrom até uma tonalidade arroxeada, enquanto a porção comestível pode ser branca, amarela, laranja ou roxa dependendo da variedade (Grau & Rea, 2004).



FIGURA 1 Raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolia*)
Fonte: Silva & Cândido (2004).

Quando recém colhido, o yacon é insípido e para desenvolver o sabor adocicado característico e maior quantidade de suco, necessita ser exposto ao sol por 3 a 5 dias até que a casca se torne enrugada (Zardini, 1991).

Segundo Quinteros (2000), o yacon destinado ao consumo *in natura* deve ficar ao sol para a hidrólise dos frutanos (inulina e fruto-oligossacarídeos) e incremento no gosto doce. Entretanto, quando destinado ao consumo por

diabéticos pela presença de inulina ou FOS, deve ser processado rapidamente para evitar a degradação destes compostos.

O yacon, introduzido no Brasil por volta de 1989, na região de Capão Bonito (SP), vem despertando o interesse do campo científico devido ao seu potencial como alimento funcional. Diferentemente da maioria das raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon e várias plantas da família *Compositae*, armazenam os carboidratos na forma de frutanos. Os órgãos subterrâneos do yacon contêm de 60 a 70% de frutanos do tipo inulina com grau de polimerização (GP) máximo de 12 (Asami et al., 1991; Kakihara et al., 1996; Vilhena et al., 2000; Itaya et al., 2002).

Os imigrantes japoneses utilizavam folhas e raízes tuberosas de yacon nos tratamentos contra diabetes e altas taxas de colesterol no sangue (Kakihara et al., 1996; Vilhena et al., 2000; Aybar et al., 2001). Então, passou a ser produzido e comercializado no estado de São Paulo e, posteriormente, também na região de Itajaí, no estado de Santa Catarina. A América do Sul é a região de maior produção de yacon (Quinteros, 2000).

A parte aérea do yacon, que englobando caule e folhas, é usada em países tais como Japão e Brasil como um componente em chás medicinais (Montiel, 1996; Valentová et al., 2004). As raízes de yacon são tradicionalmente consumidas frescas ou após a exposição ao sol por vários dias (“sunning” ou “soleado” em espanhol), tratamento este conhecido por aumentar a doçura das raízes (Grau & Rea, 1997). Como alternativa, o yacon pode ser desidratado e processado em uma série de produtos de conveniência atrativos (Doo et al., 2000). De acordo com Grau (2002), o yacon é ainda consumido cozido ou na forma de bebida obtida pela filtração do suco após a trituração da raiz.

Os países como o Peru, Bolívia e Equador têm desenvolvido estudos abrangentes, visando valorizar raízes e tubérculos andinos. No caso do yacon, obtiveram-se farinhas, doces e fatias desidratados. No entanto, a estocagem das

farinhas proporcionou a formação de massas agregadas e duras, mesmo embaladas com polietileno, devido a higroscopicidade dos carboidratos presentes (Quinteros, 2000). Ainda segundo o mesmo autor, no Brasil há produção artesanal de desidratados das raízes tuberosas e folhas de yacon. Os produtos são fatias das raízes, semelhantes à batata “chips” e folhas secas destinadas ao preparo de chá.

2.2 Características e composição química do yacon

Trata-se de uma planta perene, apesar de a parte aérea morrer a cada início de inverno e pode atingir a altura de 2 m, possui talo piloso que apresenta em suas raízes tuberosas (peso de 200-2000g cada) reserva de carboidratos como frutose, glicose, sacarose e, principalmente, oligossacarídeos de baixo grau de polimerização, que podem chegar a 67% da matéria seca logo após a colheita. As raízes contêm de 10 a 14% de matéria seca, sendo a maior parte constituída de carboidratos, principalmente frutanos e fibras (Goto et al., 1995; Kakihara et al., 1996).

A raiz possui, portanto, elevado conteúdo de carboidratos e baixo de proteínas e lipídios, apresentando quantidades significativas de potássio, conforme está demonstrado no Tabela 1.

Os FOS, no yacon, possuem baixo grau de polimerização (GP) e estão presentes em grandes quantidades no tecido, aproximadamente de 60 a 70%, em base seca, conforme observações feitas por Goto et al. (1995).

Asami et al. (1991) determinaram que, no yacon recém colhido, o total de FOS representou 67% da matéria seca, enquanto Ohyama et al. (1990), em amostras mantidas sob refrigeração por três meses, verificaram somente 26% de FOS, fatos que indicam que a composição de frutanos pode ser modificada com o armazenamento.

TABELA 1 Composição química média e valor calórico da raiz de yacon por 100g da porção comestível (*in natura*) apresentados por alguns autores.

Componentes	Capito (2001)	Quinteros (2000)	Nieto (1991)	Hermann et al. (1998) citado por Silva & Cândido (2004)
Matéria seca (g)	9,20	13,84	15,20	11,5
Proteína (g)	0,32	0,71	0,56	0,37
Gordura (g)	0,08	0,03	0,02	0,02
Carboidratos (g)	s.d	s.d	s.d	10,60
Fibra (g)	0,84 ¹	3,59	3,4	0,36
Cinzas (g)	0,41	s.d	0,53	0,50
Cálcio (mg)	s.d	9,92	12,16	8,70
Cobre (mg)	s.d	s.d	0,001	s.d
Ferro (mg)	s.d	s.d	0,015	s.d
Zinco (mg)	s.d	s.d	0,059	s.d
Fósforo (mg)	s.d	12,28	20,00	24,00
Potássio (mg)	s.d	s.d	330	0,23
Sódio (mg)	s.d	s.d	1,50	s.d
Ácido ascórbico (mg)	s.d	8,26	s.d	s.d
Energia (kcal)	s.d	s.d	s.d	17,40

NOTA: Dados trabalhados pelo autor. 1- metodologia utilizada não quantifica os frutanos como fibras. s.d- sem dados

FONTE: Nieto (1991); Hermann et al. (1998) citado por Silva & Cândido (2004); Quinteros (2000); Capito (2001).

De acordo com Ohyama et al. (1990), as raízes tuberosas do yacon apresentam elevado conteúdo de açúcares solúveis (820 ± 30 mg/g de matéria seca), frutose (589 ± 38 mg/g de matéria seca) e frutanos de baixo grau de polimerização (GP 3 a 10). Foram encontrados teores baixos de inulina ($13,50 \pm 0,40$ mg/g de matéria seca) com grau de polimerização médio de 14,5. Estes resultados demonstram que o yacon pertence ao grupo dos vegetais que acumulam frutanos de baixo grau de polimerização semelhante à cebola e bulbos de tulipa e são diferentes da inulina acumulada em plantas como *Helianthus tuberosus* (alcachofra de Jerusalém) ou *Dahlia* (dália).

Estudos têm investigado as propriedades benéficas do yacon em relação à saúde devido, principalmente, à presença de FOS e inulina, além de possuir compostos fenólicos que atuam como antioxidantes (Goto et al., 1995).

Dessa forma, de acordo com Marangoni (2007), a busca por processos de transformação que conduzam ao aumento da vida útil do yacon *in natura* tem se tornado importante, pois visa principalmente: a obtenção de um ingrediente de fácil aplicação, além de agregar valor aos produtos, de modo que estes apresentem um maior valor nutricional e possam contribuir para uma dieta mais saudável e permitir a estes produtos a adição da funcionalidade fisiológica, uma vez que há uma crescente demanda por produtos deste tipo, lhes permitindo um grande potencial de mercado.

2.3 Alimentos funcionais

Um alimento pode ser considerado como funcional se for demonstrado de maneira satisfatória que possa agir de forma benéfica em uma ou mais funções do corpo, além de adequar à nutrição e de certo modo, melhorando a saúde e bem-estar, ou reduzindo o risco de doenças (Roberfroid, 2000).

De acordo com a Resolução nº 18/99 (BRASIL,1999) a *alegação de propriedade funcional* é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo e a *alegação de propriedade de saúde* é aquela que afirma, sugere ou implica a existência de relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde.

O termo “alimentos funcionais” é utilizado para caracterizar alimentos e/ou ingredientes alimentares que, além de suas funções nutricionais normais (fonte de energia e substrato para a formação de células e tecidos), possuem, em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de atuar como moduladores

dos processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem estar e prevenindo o surgimento precoce de doenças degenerativas. Os alimentos funcionais representam uma união da farmacologia com a tecnologia de alimentos na busca de uma melhor qualidade de vida baseada na alimentação. Isso vem sendo reconhecido pelo consumidor moderno, que tem procurado com mais frequência esse tipo de produto nas prateleiras dos mercados. Evidentemente, esses alimentos não podem ser encarados como uma solução única, mas sim como mais um auxílio que os avanços tecnológicos e científicos colocam à disposição (Skliutas, 2002).

Especificamente na América Latina, a população de modo geral não tem conhecimento sobre alimentos funcionais, apesar de existir uma crescente conscientização, por parte do consumidor, da importância de uma boa alimentação e dos cuidados com relação à saúde, sobretudo nos grandes centros urbanos. No entanto, ainda é necessário maior investimento em pesquisa, de modo a se aproveitar melhor a biodiversidade regional na busca por produtos saudáveis. Falta ainda, por parte da comunidade científica e governamental desta região, criar regulamentação oficial com respeito aos alimentos funcionais, sendo que os poucos códigos existentes focam apenas em segurança e eficácia alimentar (Lajolo, 2002).

Nesse contexto, surge a hipótese de que o yacon possa ser considerado um alimento funcional pelo seu conteúdo de substâncias funcionais como os FOS e inulina, os quais atuam como fibra solúvel, além da presença de compostos fenólicos tais como os ácidos caféico, clorogênico e ferúlico que possuem atividade antioxidante no organismo humano.

2.4 Frutanos: inulina e fruto-oligossacarídeos

Os frutanos como fruto-oligossacarídeos (FOS) e inulina são oligo e polissacarídeos, respectivamente, constituídos por uma molécula de sacarose, ao qual se unem resíduos de frutose por ligações glicosídicas β (2→1) ou β (2→6), podendo ser lineares ou ramificados (Capito, 2001; Lajolo & Menezes, 2006).

Os frutanos são comumente encontrados em alcachofra, cevada, centeio, raiz de chicória, cebola, banana, alho e aspargo (Cozzolino, 2006).

Os frutanos podem também ser classificados de acordo com sua estrutura, em três grupos: inulinas, levanos e graminanos que são baseados nos compostos 1-cestose, 6-cestose e neocestose, respectivamente (Silva & Cândido, 2004), conforme demonstrado na Figura 2.

TIPO	SUBSTÂNCIA BASE DA ELONGAÇÃO	ESTRUTURA
INULINA		
LEVANO		
GRAMINANO		

FIGURA 2 Fórmulas estruturais dos frutanos.
 Fonte: Quinteros (2000).

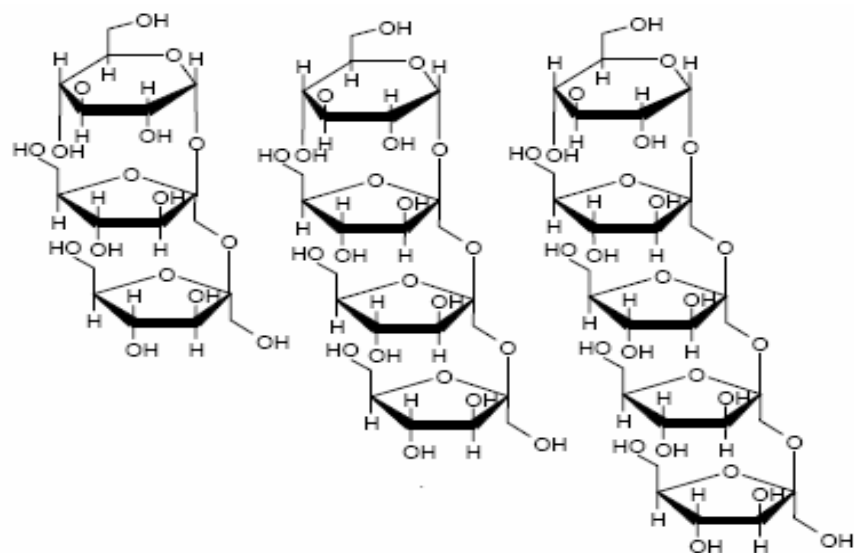
Segundo Vijn & Smmenkens (1999), o grau de polimerização (GP) dos frutanos é muito variado, já que se podem encontrar frutanos com GP entre 3 e 60 e, ocasionalmente, o GP pode exceder a 200.

A inulina e os FOS são importantes como carboidratos de reserva em plantas (Haully & Moscatto, 2002). Ambos pertencem ao grupo dos frutanos e

são sintetizados por uma grande variedade de plantas, aproximadamente 36.000 espécies, que representam 10 famílias (Carpita et al., 1989). Inulina e FOS diferenciam-se pelo grau de polimerização das cadeias que contêm, que é entre 2 e 60 para a inulina e 2 e 10 para FOS (Lajolo & Menezes, 2006).

A inulina (G1-2F1-2Fn) consiste em cadeias lineares com ligações β (2 \rightarrow 1) de unidades frutossil e o trissacarídeo menor da série é a isocestose. O levano (G1- 2F6-2Fn) é uma série linear com uniões β (2 \rightarrow 6) de unidades frutossil (Lajolo & Menezes, 2006). A estrutura química de alguns fruto-oligossacarídeos estão representadas na Figura 3.

A hidrólise (ácida ou enzimática) da inulina produz oligômeros lineares. Estes são estruturalmente designados GF n - glicose-frutose, onde n representa o número de unidades frutofuranosil obtidas pela hidrólise; ou F m , que é constituída apenas por frutose, onde m representa o número de unidades frutofuranosil obtidas. Os valores de n e m variam entre 2 e 9 (De Bruyn et al., 1992; Haully & Moscatto, 2002). GF n e F m têm propriedades físico-químicas muito semelhantes, embora se verifique a presença de grupo terminal frutose redutor nos produtos tipo F m que são redutores, enquanto os GF n são não-redutores.



GF₂ – trissacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 2 moléculas de frutose
 GF₃ – tetrassacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 3 moléculas de frutose
 GF₄ – pentassacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 4 moléculas de frutose

FIGURA 3 Estruturas químicas de três dos principais fruto-oligosacarídeos (GF₂, GF₃ e GF₄).

Fonte: Lachman et al. (2004).

A inulina é um carboidrato largamente encontrado na natureza, funcionando como carboidrato de reserva em muitas plantas, encontrando-se em distintos órgãos como folhas, raízes, tubérculos, rizomas e frutos (Lajolo & Menezes, 2006). As plantas apresentam hidrólise endógena da inulina em moléculas de menor grau de polimerização, o que permite a sobrevivência destas plantas durante o inverno, em regiões frias e moderadamente frias e atuam na osmorregulação (Carpita et al., 1989). Entretanto, o conhecimento sobre frutanos é escasso devido à dificuldade de sua determinação (Lajolo & Menezes, 2006).

Muitas plantas que contêm inulina fazem parte da dieta humana básica há muito tempo, sendo a cebola a mais consumida entre elas. A concentração de inulina em cada planta depende muito da variedade, do tempo decorrido desde a colheita até a utilização desta e das condições de estocagem. Na cebola,

dependendo destes fatores, a concentração de inulina pode chegar até a 50% da matéria seca (Rutherford & Whittle, 1982; Suzuki & Cutcliffe, 1989). Outros vegetais, do mesmo gênero da cebola, que contêm inulina são alho-poró e alho, os quais apresentam, respectivamente, 18-60% e 22-40% da matéria seca em inulina (Asami et al., 1989).

Existem ainda outros vegetais que contêm consideráveis concentrações de inulina e são bastante consumidos. Entre eles, salientam-se o aspargo que contém, em base seca, cerca de 30% de inulina nas raízes (Fiala & Jolivet, 1982); a barba de bode, com mais de 50% da matéria seca constituída de inulina (Van Ree, 1982); e as raízes tuberosas de dália que fornecem, em base seca, um rendimento de 50% de inulina (Haully, 1991). Outras fontes importantes de frutanos são a *Chicorium intybus* (chicória) e *Helianthus tuberosus* (alcachofra de Jerusalém) (Praznik et al., 1994).

Além dos vegetais citados, muitos cereais também contêm inulina, porém em menores quantidades. Entre eles estão o trigo, a cevada, o centeio, com concentrações variando entre 1-4% (Nilsson & Dahlquist, 1986).

De acordo com Voragen (1998), para a maioria das fontes (alho, cebola, aspargo), as concentrações de inulina e FOS estão entre 0,3 a 6% do peso fresco, podendo chegar a 10% para a barba de bode. Entretanto, para alcachofra de Jerusalém, chicória, dália e yacon, as concentrações de inulina e fruto-oligossacarídeos podem chegar até 20% do peso fresco, fazendo destes vegetais importantes fontes de inulina e FOS. Algumas das principais fontes de inulina e FOS são mostradas na Tabela 2.

TABELA 2 Concentração (% da matéria integral) de inulina e fruto-oligossacarídeos em fontes alimentares.

Plantas	Parte comestível	Inulina (%)	Fruto-oligossacarídeos (%)
Alcachofra	Folhas centrais	3-10	< 1
Alcachofra jerusalém	Tubérculo	16-20	10-15
Alho	Bulbo	9-16	3-6
Alho-poró	Bulbo	3-10	2-5
Banana	Fruta	0,3-0,7	0,3-0,7
Barba de bode	Folhas	4-11	4-11
Cebola	Bulbo	2-6	2-6
Centeio	Grão	0,5-1	0,5-1
Cevada	Grão	0,5-1,5	0,5-1,5
Chicória	Raiz	15-20	5-10
Dente de leão	Folhas	12-15	NA*
Trigo	Grão	1-4	1-4
Yacon	Raiz	3-19	3-19

Fonte: Van Loo et al. (1995); Moshfegh et al. (1999).

* não analisado

Algumas enzimas hidrolíticas, produzidas por microorganismos e plantas, conhecidas como inulinases são capazes de clivar as ligações β (2 \rightarrow 1) dos frutanos, gerando frutose e glicose. De acordo com seu modo de ação, as inulinases se classificam em endo e exo inulinases (Capito, 2001). Nakamura e Ohta (1999) citados por Quinteros (2000) obtiveram uma mistura de 97% de frutose e 3% de glicose, a partir de inulina de dália, utilizando uma endoinulinase parcialmente modificada de *Aspergillus niger*. No entanto, as ligações β (2 \rightarrow 1) não sofrem hidrólise por ação das enzimas digestivas.

Os FOS apresentam estabilidade térmica superior à da sacarose na faixa de pH da maioria dos alimentos (pH 4 a 7). No entanto, podem sofrer hidrólise em soluções aquosas de pH inferior a 3,5 (Quinteros, 2000).

Devido à acumulação de frutanos em seus tubérculos, o yacon apresenta potencialidades como fonte destes biopolímeros para utilização nutricional e terapêutica (Goto et al., 1995; Gibson & Roberfroid, 1995).

2.5 Fibra alimentar

A fibra alimentar (FA) é descrita como uma classe de compostos de origem vegetal constituída, sobretudo de polissacarídeos e substâncias associadas que, quando ingeridos, não sofrem hidrólise, digestão e absorção no intestino delgado de humanos (Prosky, 2001).

As fibras podem ser classificadas quanto a sua solubilidade em água em fibras solúveis e insolúveis. A fibra alimentar solúvel é composta por pectinas, beta-glicanas, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses. Os componentes insolúveis são lignina, pectinas insolúveis, celulose e hemiceluloses (Walker, 1993). Esta classificação apresenta importância quanto a sua ação, pois os efeitos fisiológicos das fibras solúveis são diferentes das fibras insolúveis.

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA (Resolução RDC n. 40 de 21/03/2001), define-se como FA qualquer material comestível que não seja hidrolisado pelas enzimas endógenas do trato digestivo de humanos e determinado segundo os métodos publicados pelo AOAC em sua edição mais atual (Brasil, 2002).

A ingestão dietética de referência (DRI) para fibra alimentar total é de 19 a 38 g por dia, havendo variações entre os estágios de vida e estado fisiológico, sendo para homens adultos, com idade entre 19 e 50 anos, a ingestão adequada da ordem de 38g de fibra alimentar total diariamente (IOM, 2005).

Adicionalmente, é recomendado pela *Food and Drug Administration* (FDA) que, do total de fibras a ser consumido diariamente, a proporção adequada seja de 70-75% de fibras insolúveis e 25-30% de fibras solúveis (Márquez, 2001; Guerra et al., 2004).

Alimentos ricos em FA podem ser incluídos na categoria de alimentos funcionais, pois a porção fibra interfere em uma ou mais funções do corpo de maneira positiva. Além disso, quando determinados no alimento a porção solúvel de FA, a qual estimula o crescimento de bactérias benéficas, especialmente bifidobactérias e lactobacilos, pode-se também incluí-lo na categoria de alimentos funcionais, por apresentarem função de prebióticos (Cozzolino, 2006).

Prebióticos, por sua vez, são componentes alimentares não digeríveis que afetam benéficamente o hospedeiro, por estimularem seletivamente a proliferação ou atividade de populações de bactérias desejáveis no cólon. Adicionalmente, o prebiótico pode inibir a multiplicação de patógenos, garantindo benefícios adicionais à saúde do hospedeiro. Esses componentes atuam mais freqüentemente no intestino grosso, embora eles possam ter também algum impacto sobre os microrganismos do intestino delgado (Mattila-Sandholm et al., 2002; Saad, 2006).

A inulina e os FOS, denominados de frutanos, são fibras solúveis e fermentáveis, as quais não são digeríveis pela α -amilase e por enzimas hidrolíticas, como a sacarase, a maltase e a isomaltase, na parte superior do trato gastrintestinal (Carabin & Flamm, 1999) e têm o potencial de estimular as bifidobactérias do cólon a tal ponto que, depois de um curto período, começam a predominar nas fezes (Gibson & Collins, 1998).

Os FOS estão entre os prebióticos mais estudados e comercializados, pois estimulam o crescimento de *Bifidobacterium* (Pereira & Barcelos, 2003). Entre as principais fontes naturais de prebióticos (ou alimentos com propriedades

prebióticas) estão a alcachofra, aspargo, banana, cebola e chicória.

A maioria dos dados da literatura científica sobre efeitos prebióticos relaciona-se aos FOS e a inulina e diversos produtos comerciais estão disponíveis há vários anos (Puupponen-Pimiä et al., 2002).

2.6 Efeitos benéficos do consumo de yacon e possíveis mecanismos de ação

Em 1950, o uso de plantas com altos teores de inulina já era recomendado na alimentação destinada a diabéticos e, mais recentemente, tem sido comprovada a propriedade da inulina de atuar na composição da microbiota do cólon, proporcionando benefícios à saúde humana (Capito, 2001).

Os FOS, incluindo aqueles presentes no yacon, não são digeríveis pelo aparelho digestório, possuindo efeito de fibra alimentar. No estudo conduzido por Nakanishi (1997), observou-se que essa raiz possui quantidades abundantes de frutanos e carência de amido, o que torna o yacon potencialmente benéfico na dieta de diabéticos.

Os frutanos por serem resistentes às enzimas hidrolíticas da saliva e do aparelho digestório humano, quando consumidos, chegam ao cólon sem alterações significativas em sua estrutura. No cólon são fermentados pela microbiota intestinal com produção dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como o acetato, propionato e butirato, além de ácido láctico, dióxido de carbono e hidrogênio (Roberfroid, 1993; Luo et al, 1996).

Autores acreditam que existe evidência muito preliminar de que os FOS e a inulina podem diminuir os níveis de glicose no sangue (Silva & Cândido, 2004). Roberfroid (1993) sugeriu que o propionato produzido pela fermentação de fibras solúveis poderia desempenhar um papel na redução da produção de glicose e estímulo a glicólise. Além disso, julga-se, com frequência, que as fibras solúveis melhoram a tolerância à glicose através de uma viscosidade

elevada que retarda a digestão e absorção dos carboidratos, porém a medição hormonal da absorção de glicose e liberação de insulina também poderiam estar envolvidas (Stark, 1994).

Além disso, a maior parte dos açúcares solúveis no yacon são frutose e este monossacarídeo não é dependente de insulina para ser captado pelas células para sua utilização, portanto, é um alimento recomendado para a dieta de indivíduos diabéticos e na prevenção e tratamento da obesidade ou sobrepeso (Nakanishi, 1997). Apesar da estimulação da gliconeogênese, a administração de frutose pura produz apenas pequenos aumentos da glicemia (Dirlewanger et al., 2000).

Aybar et al. (2001) investigaram o efeito do extrato aquoso das folhas de yacon em ratos normais, transientemente hiperglicêmicos e diabéticos induzidos por estreptozotocina. Os resultados revelaram que uma única administração intraperitoneal ou via tubo gástrico de chá a 10%, preparado pela decoção das folhas do yacon, as quais possuem considerável teor de fibras (Frček et al., 1995), causou um decréscimo nos níveis de glicose plasmática nos ratos normais.

Adicionalmente, relata-se na literatura que o consumo de inulina e FOS leva à ocorrência de uma diminuição dos triacilgliceróis e níveis de colesterol plasmático em pacientes hipercolesterolêmicos, efeitos estes relacionados a uma atividade reduzida das enzimas lipogênicas hepáticas (Brighenti et al., 1995; Fiordaliso et al., 1995; Kok et al., 1996). As fibras alimentares, especialmente as solúveis ou viscosas, efetivamente diminuem o colesterol sérico e as concentrações de LDL-c, que tem papel central na formação da aterosclerose, podendo contribuir na proteção contra doenças coronarianas (Anderson, 1990). Esses efeitos relacionam-se com as suas propriedades de formação de gel, diminuição da absorção de ácidos biliares e ação dos AGCC sobre a função hepática (Anderson, 1995).

São muitas também as evidências de que os FOS possam contribuir para a diminuição do risco de câncer de cólon. Em seu estudo, Reddy (1998) avaliou as propriedades inibitórias de FOS e inulina que foram administrados a ratos machos portadores de carcinogênese de cólon induzida por azoximetano, usando focos de colônias de glândulas simples anômalas como pontos de saturação. A adição de inulina ou FOS na dieta destes ratos inibiu significativamente o número total de colônias de glândulas anômalas por cólon quando comparados com a dieta controle. Ohta et al. (1994) relatam que a ingestão desses tipos de carboidratos está associada à diminuição do pH do íleo e do ceco, além de causar hipertrofia das paredes do ceco.

A fermentação de carboidratos pode influenciar também a absorção intestinal de cálcio e magnésio de muitas maneiras. Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), produtos da fermentação, são responsáveis pela diminuição do pH do conteúdo fecal, que neste caso aumentam a solubilidade mineral que melhora a absorção mineral. Os ácidos graxos de cadeia curta podem também influenciar diretamente a absorção por complexação com os minerais, direcionando para um aumento na absorção deles. O aumento fecal pode também elevar a área de superfície de troca para aumentar a absorção mineral (Rémésy et al., 1993; Younes et al., 1993; Lobo et al., 2007).

Portanto, alguns benefícios do consumo de yacon para a saúde humana incluem resumidamente: não cariogenicidade; valor energético reduzido; eliminação de bactérias patogênicas e putrefativas por efeito da multiplicação das bifidobactérias; redução dos lipídios no sangue; aumento da absorção de minerais como cálcio, magnésio e ferro; inibição dos estágios iniciais do câncer de cólon, diminuição da velocidade de absorção dos açúcares e influência sobre a função intestinal, aumentando frequência e peso das fezes (Gibson & Roberfroid, 1995; Guigoz et al., 2002).

Assim, a inulina e os FOS, presentes em determinados vegetais, podem modular funções fisiológicas-chaves (Pool-Zobel et al., 2002).

Adicionalmente, de acordo com Chuda et al. (1998), o yacon contém considerável quantidade de compostos fenólicos, os quais demonstram atividade antioxidante e, conseqüentemente, podem proteger as membranas celulares contra danos provocados pelos radicais livres (Marangoni, 2007), que são espécies reativas produzidas naturalmente durante processos bioquímicos, sendo que a síntese é aumentada em situações tais como exposição à radiações gama e ultravioleta, fumo, medicamentos, poluentes ambientais, exercícios físicos, entre outros (Gutiérrez, 2002). Por sua vez, antioxidantes são substâncias capazes de detoxificar os efeitos deletérios dos radicais livres, atuando antes da ocorrência da lesão ou após esta etapa, reparando a lesão (Zoppi, 2006).

Segundo Yan et al. (1999), o conteúdo de compostos fenólicos no yacon é expressivo, sendo 3,8% da massa em base seca, constituída por substâncias como ácido clorogênico, L-triptofano e outros.

A presença de ácidos fenólicos como caféico, ferúlico e clorogênico, caracteriza o yacon como um alimento que possui propriedades antioxidantes que podem prevenir contra câncer, aterosclerose, doenças cardiovasculares, envelhecimento, entre outros.

Dessa forma, o yacon é um alimento com propriedades funcionais bastante promissoras e poderia ser incorporado à dieta da população em geral (Quinteros, 2000).

2.7 Aspectos tecnológicos da inulina e FOS

As mudanças no processamento e a crescente exigência do consumidor por alimentos que apresentem, além da alta qualidade sensorial e nutricional, benefícios associados à saúde, fazem surgir a necessidade de novos ingredientes que possam atender a estas exigências do mercado (Idris et al., 1996).

Segundo Cozzolino (2006), vários compostos são incorporados aos alimentos com a finalidade de melhorar seus atributos sensoriais e suas características funcionais, dentre estes, a inulina e os FOS, sendo este último, geralmente, obtido por síntese enzimática a partir da sacarose e por hidrólise enzimática da inulina da raiz do almeirão.

Inulina e FOS vêm sendo incorporadas em diversos produtos alimentares, principalmente em produtos de padaria e confeitaria, como bolo, que têm grande aceitação pelo mercado consumidor devido às suas características reológicas: produtos leves e facilmente mastigáveis; apresentam textura porosa que facilita a digestão e são normalmente muito saborosos, pois são adoçados (Leitão et al., 1984; Moscatto et al., 2004).

Além das propriedades promotoras de saúde, estes carboidratos também podem ser usados para melhorar aspectos sensoriais em produtos de panificação de baixo valor calórico (Milner, 1999).

Franck (2002), em seu trabalho, aponta que em formulações de alimentos, a inulina e FOS podem melhorar significativamente as características organolépticas. Suas respectivas incorporações permitem um melhoramento do sabor e sensação bucal em uma larga faixa de aplicações em produtos como iogurtes, bebidas de frutas, queijos, sorvetes, chocolates, dentre outros.

O equivalente de dextrose (DE) da inulina varia de 20 a 25 e seu poder adoçante corresponde a 30 a 65 % em relação a sacarose. É moderadamente

solúvel em água (10% a temperatura ambiente), sendo muito solúvel em 50 a 60°C (Cândido & Campos, 1996).

A frutose, componente em maior quantidade na inulina e FOS, utilizada como adoçante natural, apresenta vantagens sobre a sacarose e glicose, sendo 1,3 vezes mais doce e menos cariogênica que a sacarose. A ingestão de uma quantidade normal de frutose por humanos não depende de insulina, sendo também apropriada para consumo por diabéticos e pessoas em dieta com baixas calorias. Além disso, por cristalizar menos facilmente que a sacarose, proporciona textura cremosa em doces e alimentos congelados, preserva o “flavor” dos alimentos, realçando o aroma de frutas e de alimentos vegetais (Yamazaki & Matsumoto, 1993; Gennaro et al., 2000).

Devido ao fato de apresentar cadeia maior, a inulina é menos solúvel que os FOS e tem a habilidade de formar microcristais de inulina quando misturada em água ou leite. Estes microcristais não são percebidos na boca, mas interagem para formar uma textura finamente cremosa que promovem na boca uma sensação semelhante ao da gordura. Inulina tem sido usada com sucesso como substituto de gordura em vários produtos alimentares como bolos, chocolates, embutidos, produtos lácteos (Niness, 1999).

Os FOS constituem-se de cadeias menores e possuem qualidades funcionais similares aos xaropes de sacarose ou glicose. São mais solúveis que a sacarose e fornecem entre 30-50% da doçura desta. Os FOS contribuem para encorpar produtos lácteos e melhorar a umectância de produtos de panificação, diminuir o ponto de congelamento de sobremesas congeladas, fornecer crocância a biscoitos de baixo teor de gordura, e agir como um aglutinante em barras nutricionais de granola. Desse modo, eles exercem o mesmo papel que a sacarose, mas têm as vantagens de apresentar menor valor calórico, enriquecer o teor de fibras e outras propriedades nutricionais em alimentos. Adicionalmente, é utilizada em combinação com adoçantes de alta intensidade em substituição a

sacarose, fornecendo um perfil de doçura bem balanceado e mascarando o sabor residual de aspartame (Weidmann & Jager, 1997 citado por Haully & Moscatto, 2002).

No estudo realizado por Moscatto et al. (2004), foi observado que a farinha de yacon e a inulina apresentaram-se como ingredientes adequados para formulação de bolo de chocolate, demonstrando propriedades químicas e físicas, preferência e estabilidade de armazenamento comparáveis aos da formulação padrão para bolo de chocolate. Em adição, possuem como vantagens maior maciez e teor de fibra alimentar, valor calórico igual ou menor que o bolo padrão e a presença de frutanos como inulina e FOS, que além de se apresentarem como fibras solúveis, possuem ação prebiótica para a qual, vários benefícios à saúde são atribuídos.

Marangoni (2007) elaborou produtos à base de farinha da polpa de yacon tais como bolo inglês, biscoitos e *snacks* que apresentou boa aceitação em avaliação sensorial.

No estudo conduzido por Pedreschi et al. (2003), foram cultivadas sob condições anaeróbicas *L. plantarum*, *L. acidophilus* e *B. bifidum*, em FOS comercial (*Neosugar*, Nutraflora®) e em extrato de yacon. A fermentação de FOS foi avaliada pela medição do crescimento microbiano (mudanças na densidade óptica), pH ou acidificação do meio e pela determinação da quantidade de FOS consumida. Os resultados foram animadores e sugerem que os FOS do yacon têm potencial como prebióticos e podem ser utilizados pelas espécies de probióticos *Bifidobacterium* e *Lactobacillus* (Pedreschi et al., 2003).

2.8 Substâncias antinutritivas e/ou tóxicas presentes naturalmente em alimentos

É essencial a realização de estudos dos nutrientes e dos fatores antinutricionais dos vegetais de uso convencional e não convencional, a fim de se estabelecer a viabilidade do consumo sem causar prejuízo à saúde do homem (Gupta et al., 1989).

O termo fator antinutricional tem sido usado para descrever compostos ou classes de compostos presentes numa extensa variedade de alimentos de origem vegetal, que quando consumidos, reduzem o valor nutritivo dos alimentos. Eles interferem na digestibilidade, absorção e/ou utilização de nutrientes e, se ingeridos em altas concentrações, podem acarretar em efeitos danosos à saúde (Griffiths et al., 1998).

Os taninos são compostos fenólicos provenientes do metabolismo secundário das plantas e que não se apresentam na forma livre nos tecidos vegetais. São aqueles presentes sob a forma de polímeros, dentre os quais estão os taninos e as ligninas. Os taninos são compostos de alto peso molecular, que conferem ao alimento a sensação de adstringência, e classificam-se em dois grupos, baseados em seu tipo estrutural: taninos hidrolisáveis e taninos condensados.

Os taninos hidrolisáveis são unidos por ligações hidrolisáveis éster-carboxila, sendo prontamente hidrolisados em condições ácidas ou básicas. A unidade básica estrutural desse tipo de tanino é um poliol, usualmente D-glucose, com seus grupos hidroxilas esterificados pelo ácido gálico (galotaninos) ou pelo ácido hexadihidroxifênico (elagitaninos) (Nozella, 2001). Já os condensados ou proantocianidinas são constituídos por unidades flavonol: flavan-3-ols (catequina) ou falvan 3,4-diols (leucoantocianidina). Os taninos condensados podem conter de duas a cinquenta unidades flavanóides; possuem

estruturação complexas, são resistentes à hidrólise, mas podem ser solúveis em solventes orgânicos aquosos, dependendo de sua estrutura (Salunkhe, 1990).

Taninos condensados estão presentes em maior quantidade nos alimentos mais comumente consumidos, pois estão na fração fibra alimentar de diferentes alimentos e podem ser considerados indigeríveis ou pobremente digeríveis (Bartolomé et al., 1995). Em leguminosas e cereais os taninos têm recebido considerável atenção, por causa de seus efeitos adversos na cor, sabor e qualidade nutricional (Silva & Silva, 1999).

Os taninos pertencem a um grupo de compostos fenólicos que são definidos como polímeros fenólicos solúveis em água que precipitam proteínas (Nozella, 2001).

Na forma não oxidada os taninos reagem com as proteínas através de ligações de hidrogênio e/ou ligações hidrofóbicas. Quando oxidados, os taninos se transformam em quinonas, as quais formam ligações covalentes com alguns grupos funcionais das proteínas, principalmente os grupos sulfídricos da cisteína e γ -amino da lisina (Sgarbieri, 1996).

Spencer et al. (1988) descrevem que a estrutura e propriedade dos polifenóis são importantes para a formação do complexo tanino-proteína, sendo que três características devem ser consideradas:

1 – tamanho da molécula: moléculas maiores são mais eficazes na associação com proteínas;

2 – conformação flexível: quando a molécula sofre retração, facilita a ligação do polifenol a sítios das proteínas;

3 – solubilidade: uma relação inversa existe entre a força de associação com a proteína e a solubilidade em água do polifenol, com isso, baixa solubilidade favorece fortemente esta associação.

Os mecanismos diretos de interação entre compostos fenólicos e minerais não estão bem estabelecidos. Sabe-se que o efeito adstringente dos

taninos está relacionado com sua capacidade de precipitar proteínas e dessa forma poderia, indiretamente, diminuir a absorção de minerais (Cozzolino, 2006). Considerando os taninos como antinutrientes, alternativas para sua minimização devem ser desenvolvidas.

Um dos métodos básicos de eliminação de taninos em vegetais seria a remoção física por extração ou moagem, através do uso de solução aquosa de álcalis ou mesmo água, na qual as plantas ou sementes são colocadas por algum tempo. A moagem das plantas ou sementes é um processo que pode auxiliar a extração dos taninos, antes do tratamento com líquido (Butler, 1989).

No entanto, Genta et al. (2005), ao conduzirem um trabalho para avaliar a toxicidade subcrônica de farinha de raiz de yacon seco durante 4 meses, não observaram mortalidade entre os animais, além de não observarem efeitos de toxicidade nos mesmos. Os taninos, algumas vezes têm sido relacionados à função de antioxidante em alguns estudos como o de Fresneda et al. (2001), que estudando taninos de diferentes espécies vegetais na prevenção do foto-envelhecimento evidenciaram uma importante atividade antioxidante em sistemas *in vitro* nos diferentes modelos experimentais avaliados.

O nitrato encontra-se em alguns alimentos de forma natural, mas também pode ser adicionado aos produtos de origem animal para atuarem como conservantes. O homem é diariamente exposto à presença de nitrito e nitrato através de drogas, água e alimentos. Geralmente, suas quantidades são pequenas, não apresentando efeito prejudicial à saúde humana e animal. Porém, quando os alimentos possuem alto teor de nitrato, estes podem tornar-se nocivos ao serem ingeridos (Beninni et al., 2002).

Os vegetais também são fontes naturais de nitrato, composto utilizado como fonte de nitrogênio para o crescimento das plantas. Estima-se que os vegetais, em particular os verdes folhosos tais como couve, espinafre, alface e outros vegetais como o tomate, contribuam com mais de 70% do nitrato total

ingerido. No entanto, as concentrações normais de nitrato e nitrito nos alimentos naturais dependem do uso de fertilizantes e das condições nas quais os alimentos são cultivados, colhidos e armazenados (Rath et al., 1994; Guadagnin, 2004).

A importância do nitrato para a saúde humana está na sua transformação em nitrito pelo organismo. A redução intestinal de nitrato a nitrito, com conseqüente absorção do mesmo, poderia originar cianoses devido a complexação do ferro da hemoglobina e, conseqüente formação de metamioglobina. Esta forma modificada da hemoglobina é incapaz de transportar o oxigênio dos alvéolos pulmonares para os tecidos (Krohn et al., 2003). O nitrito também reage com aminas secundárias e terciárias, formando compostos N-nitrosos, potencialmente carcinogênicos (Walker, 1990; Pereira & Kofman, 2001). Dessa forma, quando os alimentos possuem alto teor de nitrato, sua qualidade nutricional é diminuída, devido aos compostos nocivos formados a partir de sua ingestão, a citar nitrito e nitrosaminas, os quais causam maiores prejuízos à saúde (Walker, 1990).

Ainda, segundo Mídio & Martins (2000), não são estabelecidas tolerâncias ou limites máximos permitidos para nitratos naturalmente presentes nos alimentos de origem vegetal. Mas, a ingestão diária de nitrato considerada aceitável (sem riscos à saúde) pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de 5 mg kg⁻¹ de peso corporal, além da ingestão desse componente já contido nos alimentos convenientemente preparados (Sgarbieri, 1987).

O ácido oxálico, freqüentemente encontrado em vegetais como o espinafre, ruibarbo, acelga, beterraba, tomate, nozes e cacau (Massey et al., 1993; Mahan & Escott-Stump, 2005), quando absorvido, não pode ser metabolizado pelos humanos e é excretado na urina. A elevada quantidade de oxalato na urina aumenta o risco da formação de cálculos de oxalato de cálcio nos rins, pois o oxalato de cálcio é pouco solúvel na urina (Massey et al., 1993; Mandel, 1996), podendo também causar irritações na mucosa intestinal

(Espíndola, 1987) e carência de cálcio sanguíneo, elemento fundamental em numerosos processos fisiológicos. Cerca de 75% do total de cálculos renais é composto primariamente de oxalato de cálcio e a hiperoxalúria é o fator de risco primário para esta desordem. Segundo Liebman & Murphy (2007), a propensão de um gênero alimentício de aumentar o oxalato urinário é dependente do seu conteúdo de oxalato e da eficiência de absorção do mesmo.

Além disso, o ácido oxálico não absorvido, forma complexo (1:1) com o cálcio dietético e com o zinco que precipitam no lúmen intestinal em consequência do meio alcalino e são excretados nas fezes (Coelho, 1995).

Estudos que contemplam o conteúdo de substâncias como taninos, nitrato e ácido oxálico, as quais podem vir a ser prejudiciais ao organismo humano, dependendo das quantidades ingeridas e frequência de consumo, são escassos com yacon.

2.9 Enzimas polifenoloxidase e peroxidase

Quando um alimento é ainda um organismo vivo, ele contém vários tipos de enzimas, as quais se encontram dispersas de forma organizada em sistemas altamente integrados, localizados e compartimentalizados em organelas. No processamento de alimentos, o tecido vegetal sofre algum tipo de injúria quando é cortado, amassado ou passa por outros processos, havendo uma descompartimentalização, com liberação das enzimas que, em contato com os substratos específicos e oxigênio, promovem o escurecimento do alimento (Araújo, 1990).

As reações de escurecimento enzimático ocorrem em muitas frutas e vegetais, principalmente em batatas, maçãs e bananas, proporcionando perdas em relação à qualidade organoléptica, as quais são atribuídas à enzima polifenoloxidase (PFO), resultando na formação de pigmentos escuros,

freqüentemente acompanhados de mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades sensoriais do produto (Araújo, 2001).

O escurecimento oxidativo de vegetais é catalisado pelas enzimas do grupo das polifenoloxidasas e resulta da oxidação de fenóis e eventual polimerização não-enzimática das quinonas formadas em taninos ou melaninas. Esta oxidação se dá em presença de oxigênio livre, escurecendo rapidamente a superfície recém-cortada dos tubérculos, prejudicando sua aparência e a de seus produtos (Cabello, 2005). Na presença de oxigênio molecular, a PFO catalisa a oxidação de compostos fenólicos, e eventualmente, estes levam a formação de produtos coloridos indesejáveis. O escurecimento resulta não somente numa indesejável formação de cor, mas também pode resultar na perda da qualidade nutricional e proporcionar modificações no sabor (Zorzella et al., 2003).

A função mais importante da polifenoloxidase é a capacidade de oxidar inicialmente monofenóis para o-difenóis (atividade cresolásica), seguida por uma oxidação de o-difenóis para o-quinona (atividade catecolásica). Ambas as reações utilizam oxigênio molecular e os pigmentos escuros formados pela oxidação de o-quinonas não contém nirogênio e, portanto, são diferentes das melaninas (Botrel & Carvalho, 1993).

Já a enzima peroxidase é largamente distribuída nos reinos animal e vegetal e é encontrada em todas as plantas superiores estudadas (Robinson & Eskin, 1991). A peroxidase tem uma função importante na biossíntese de lignina e também está associada ao mecanismo de resistência de algumas plantas. É utilizada para testar a eficiência do processo de branqueamento de frutas e vegetais antes de seu congelamento e armazenamento (Fennema, 2000).

A peroxidase utiliza peróxido de hidrogênio para oxidar seus substratos e possui o grupo prostético ferriprotoporfirina IX (Fe^{3+}), o qual influencia as reações catalisadas pela enzima (Araújo, 2001).

Na pós-colheita, as peroxidases são responsáveis por perda na coloração, textura e valor nutricional de vegetais. A atividade da peroxidase pode levar à destruição da vitamina C e descoloração de carotenóides na ausência de ácidos graxos insaturados e de antocianinas, além de catalisar a degradação não-enzimática de ácidos graxos insaturados, com a conseqüente formação de compostos voláteis que resultam em sabor oxidado (Bezerra, 2000). Essa enzima é considerada uma das mais termorresistentes, de forma que, quando inativada, certamente as demais terão sido também destruídas. Na maioria dos casos, o branqueamento entre 90-100°C por 3 min. é suficiente para destruí-la (Araújo, 1990).

Os fatores responsáveis pela reação de escurecimento em vegetais são enzimas, o substrato e o oxigênio e, teoricamente, a interferência em um desses fatores impede a reação de ocorrer, controlando assim a oxidação. Do ponto de vista prático, o controle do escurecimento enzimático é geralmente limitado à inibição da enzima utilizando o calor, pois inativam-se as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, responsáveis pela reação de escurecimento (Cabello, 2005).

A presença de compostos fenólicos como o ácido clorogênico e L-triptofano, torna as raízes do yacon susceptíveis a reação de escurecimento enzimático, causado pela enzima polifenoloxidase. Nesta reação ocorre a formação da melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto. O controle desta reação pode ser feito pela inativação da enzima pelo calor ou uso de agentes redutores como o ácido ascórbico (Yan et al., 1999).

2.10 Ácidos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas envolvidos na adaptação a condições de estresse ambiental e podem ser divididos em dois grupos: os flavonóides e os não flavonóides, sendo que ambos presentes em frutas e vegetais (Ferreira, 2005).

Os ácidos fenólicos são algumas das substâncias que constituem o grupo dos compostos fenólicos e são componentes importantes do gosto e odor, estão envolvidos nas reações de escurecimento e na regulação do crescimento e resistência a doenças e herbívoros (Torres et al., 1987).

Caracterizam-se por terem um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila e/ou metoxila na molécula, conferindo propriedades antioxidantes tanto para os alimentos como para o organismo, sendo, por isso, indicados para o tratamento e prevenção do câncer, doenças cardiovasculares e outras doenças (Soares, 2002).

Antioxidantes fenólicos funcionam como seqüestradores de radicais e algumas vezes como quelantes de metais (Shahidi et al., 1992), agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo. Os produtos intermediários, formados pela ação destes antioxidantes, são relativamente estáveis devido à ressonância do anel aromático apresentada por estas substâncias (Soares, 2002).

Diversos autores realizaram estudos visando verificar o potencial antioxidante dos ácidos fenólicos, com o objetivo de substituir os antioxidantes sintéticos, largamente utilizados na conservação de alimentos lipídicos por chegarem a aumentar a vida útil de muitos produtos entre 15 e 200% (Durán & Padilla, 1993).

Algumas citações foram encontradas com relação à ação antioxidante dos ácidos fenólicos em sistema biológico, e na maioria das vezes foram realizados estudos *in vitro* com estas substâncias (Soares, 2002).

Os ácidos fenólicos dividem-se em grupos: o primeiro composto pelos ácidos benzóicos, com sete átomos de carbono e são os mais simples encontrados na natureza; o segundo é formado pelos ácidos cinâmicos, que possuem nove átomos de carbono. Além disso, existem as cumarinas que são derivadas do ácido cinâmico por ciclização da cadeia lateral do ácido *o*-cumárico (Soares, 2002).

A atividade antioxidante dos não-flavonóides, que inclui os ácidos fenólicos, está relacionada com a posição dos grupos hidroxilas e também com a proximidade do grupo $-CO_2H$ com o grupo fenil. Quanto mais próximo esse grupo estiver do grupo fenil maior será a capacidade antioxidante do grupo hidroxila na posição meta (Mamede & Pastore, 2004). Além disso, a atividade antioxidante dos ácidos fenólicos e seus ésteres é, geralmente, determinada pelo número de hidroxilas presentes na molécula (Rajalaksmi & Narasimhan, 1995).

Em geral, a atividade antioxidante dos derivados dos ácidos hidrocínâmicos é maior do que a dos ácidos hidrobenzóicos. A presença do grupo $-CH=CH-COOH$ na estrutura do ácido cinâmico aumenta sua capacidade de estabilizar radicais livres. Provavelmente, há conjugação da dupla ligação do grupo $-CH=CH-COOH$ com as duplas do anel (Mamede & Pastore, 2004).

De acordo com Degáspari & Waszczyński (2004), isômeros do ácido clorogênico e do ácido caféico são descritos como antioxidantes. E os ácidos sináptico, ferúlico e *p*-cumárico são antioxidantes mais ativos do que os derivados do ácido benzóico, tais como ácido procatecuíco, siringico e vanílico. (Wanasundara et al., 1994).

Os ácidos fenólicos, além de se apresentarem sob sua forma natural, podem também se ligar entre si ou com outros compostos. A combinação mais

importante destes ácidos ocorre com o ácido caféico, o qual, associado a um álcool-ácido cíclico, denominado ácido quínico, origina o ácido clorogênico (Soares, 2002).

Os ácidos fenólicos, de uma forma geral, são encontrados em frutas (uva, morango, frutas cítricas), vegetais (brócolis, repolho, cenoura, berinjela, salsa, pimenta, tomate, agrião) e chás (Anjo, 2004).

Onyeneho & Hettiarachchy (1993), avaliaram extratos de batata frente ao processo de oxidação do substrato óleo de oliva. Houve uma redução da oxidação, embora inferior à obtida com o BHA, BHT, TBHQ e com o extrato de alecrim. Por meio de cromatografia em camada fina, identificaram-se os compostos como sendo ácidos fenólicos que, por sua vez, são os principais responsáveis pela atividade antioxidante destes extratos e definiu-se como sendo os ácidos clorogênico, caféico e protocatequínico os mais ativos.

Alguns estudos têm mostrado a presença de quantidades significativas de ácidos fenólicos como o clorogênico, ferúlico e caféico em raízes de yacon (Yan et al., 1999; Takenaka et al., 2003; Simonovska et al., 2003).

2.10.1 Ácido ferúlico

O ácido ferúlico é uma substância antioxidante comumente encontrada em frutas e vegetais como tomates, aveia doce e farelo de arroz (Graf, 1992).

A hidroxila do ácido ferúlico existente na posição orto com o grupo metoxila, doador de elétrons, é um fator que aumenta a estabilidade do radical fenoxil e aumenta a eficiência antioxidante do composto (Cuvelier et al., 1992). A presença de uma segunda hidroxila na posição orto ou para, também aumenta a atividade antioxidante. O ácido ferúlico possui uma atividade antioxidante menor do que o ácido caféico, devido a característica acima citada (Chen & Ho, 1997). O efeito seqüestrante do radical hidroxil parece estar diretamente

relacionado aos grupos hidroxil localizados na posição para no anel aromático. Na Figura 4 está representada a estrutura química do ácido ferúlico.

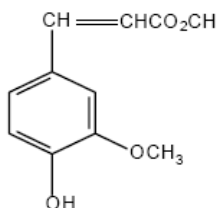


FIGURA 4 Estrutura química do ácido ferúlico
Fonte: Mamade & Pastore (2004)

Esse ácido fenólico é um forte antioxidante de membrana em humanos e é conhecido por proteger contra o câncer, resfriados, envelhecimento da pele e desgaste muscular (Srinivasan et al., 2006).

Foi comprovado que o ácido ferúlico é um potente antioxidante e paralisa as reações em cadeia dos radicais livres (Zhaohui et al., 2003). Estudos têm mostrado também que o ácido ferúlico possui efeito hepatoprotetor (Srinivasan et al., 2005), antiaterogênico (Rukkumani et al., 2004) e propriedades antimutagênicas (Murakami et al., 2002).

2.10.2 Ácido caféico

Estudos têm demonstrado a eficiência do ácido caféico como antioxidante biológico (Pulla Reddy & Lokesh, 1992; Nardini et al., 1998), inclusive evitando a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL-c) (Steinbrecher et al., 1990), com poder antioxidante comparado ao de vitamina E, C e beta-caroteno (Vinson & Dabbagh, 1998). A estrutura química do ácido caféico está demonstrada na Figura 5.

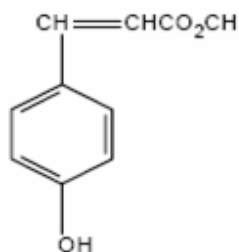


FIGURA 5 Estrutura química do ácido caféico
 Fonte: Mamade & Pastore (2004)

2.10.3 Ácido clorogênico

O ácido clorogênico é encontrado em uma gama de alimentos de origem vegetal (De Maria & Moreira, 2004). A estrutura química para esse composto foi estabelecida por Fischer em 1932 como ácido 3-cafeoilquínico (atualmente conhecido como ácido 5- cafeoilquínico) e está apresentada na Figura 6.

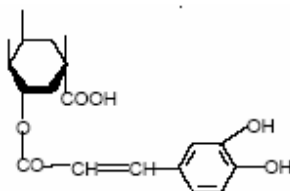


FIGURA 6 Estrutura química do ácido clorogênico
 Fonte: Lachman et al. (2003).

O ácido clorogênico é um ácido hidroxicinâmico que pode funcionar tanto como composto dietético de neurosinalização como antioxidante (Williams et al., 2004).

Ácido clorogênico e seus isômeros apresentam propriedades benéficas à saúde, não só devido à sua potente atividade antioxidante, mas também como

agentes hepatoprotetores, hipoglicemiantes e antivirais (Farah & Donangelo, 2006).

Entre os alimentos fontes de ácido clorogênico pode-se citar café (20-275mg/ xícara), batata inglesa (50-120mg/100g de matéria seca), maçã (6,2-38,5mg/100g), tomente (1-8mg/100g), polpa de marmelo (173mg/100g) e graviola (47,4mg/100g) (De Maria & Moreira, 2004).

2.11 Influência do índice glicêmico na obesidade e diabetes

De acordo com relatório recente da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre dieta, nutrição e prevenção de doenças crônicas não-transmissíveis (DCNT), o consumo alimentar habitual constitui um dos principais fatores determinantes passíveis de modificação para DCNT (WHO/FAO, 2003).

Segundo Lajolo & Menezes (2006), alimentos que contêm carboidratos lentamente digeridos têm mostrado eficácia no controle da saciedade, da resistência à insulina e dos níveis plasmáticos de glicose, insulina e lipídeos. Portanto, foram criados marcadores como o índice glicêmico (IG) que são apropriados para determinar características nutricionais de carboidratos.

Certos carboidratos elevam o nível de glicemia mais do que outros, sendo que essa elevação pode ser mensurada por meio do Índice Glicêmico (IG) dos alimentos, o qual constitui um parâmetro que verifica o quanto um determinado alimento é capaz de elevar a glicose no sangue no período pós-prandial. Essa elevação da glicemia se relaciona com o aumento da concentração de insulina no sangue (Foster-Powell et al., 2002).

Desse modo, tem se observado o aumento crescente de estudos epidemiológicos e prospectivos em países desenvolvidos e economicamente estáveis que avaliam a relação de fatores de risco que causam hiperinsulinemia (sedentarismo, obesidade central, alta ingestão de carboidratos refinados) com a

elevação da prevalência das principais doenças degenerativas tais como infarto agudo do miocárdio, diabetes não insulino-dependente, câncer de cólon retal, câncer de mama, câncer de próstata, levando a sugestão de que o estado hiperinsulinêmico seria um determinante na promoção dessas patologias (Giovannucci et al., 1997; Salmeron et al., 1997; Ludwig, 1999; Augustin, 2002).

Pesquisas (Jenkins et al., 2002) têm constatado que dietas que possuem alto IG causam menor saciedade e levam a uma ingestão alimentar excessiva, facilitando a elevação do peso corporal. Além disso, a ingestão de tais dietas pode vir a alterar o perfil lipídico e a secreção de insulina, favorecendo o aparecimento de doenças cardiovasculares e diabetes mellitus. Tem sido sugerido que tal ingestão aumenta a secreção de insulina, a qual é considerada como um fator de risco independente para o ganho de peso. O consumo de alimentos de alto IG parece desencadear uma seqüência de eventos hormonais, que limita a disponibilidade de combustível metabólico no período pós-prandial, levando à fome e à ingestão alimentar excessiva (Gutierrez & Alfenas, 2007).

Foster-Powell et al. (2002) ressaltam que a ingestão de alimentos com alto índice glicêmico pode ter um grande número de efeitos deletérios, os quais podem incluir baixos níveis de HDL-colesterol, níveis elevados de triacilgliceróis (gordura), resistência ao efeito da insulina, aumento do apetite, diminuição da queima de gordura, ganho de peso e doença arterial coronariana.

Por outro lado, a ingestão de alimentos de baixo IG pode diminuir a secreção de hormônios contra regulatórios proteolíticos como o cortisol, hormônio do crescimento e glucagon, estimulando a síntese protéica (Ludwig et al., 2002). Segundo alguns autores (Bouché et al., 2002), a regulação da massa de gordura corporal associada à ingestão de dietas de baixo IG, pode estar relacionada à ativação de genes como o *ob*. Argumenta-se que a ingestão de tais dietas parece diminuir a expressão desses genes, diminuindo a secreção

insulínica pós-prandial. Por esse motivo, observou-se que a ingestão de alimentos de baixo IG tende a aumentar o teor de massa magra e a diminuir, significativamente, o teor de massa gordurosa corporal (Bouché et al., 2002).

Com o objetivo de uma alimentação saudável, particularmente em pessoas com diabetes, obesidade e resistência à insulina, são recomendados alimentos com baixo IG, pois podem auxiliar na manutenção da glicemia dentro de valores normais e a normalidade do espectro de lipoproteínas. Esses efeitos resultam em diminuição do perigo cardiovascular e, provavelmente, também na redução do risco de câncer de mama e cólon.

Os valores de índice glicêmico (IG) são expressos de 1 a 100 e são considerados alimentos com baixo IG aqueles que apresentam o valor abaixo de 55 e dentre os quais pode-se citar alguns exemplos: leite integral, feijão, farelo de trigo, pêra e arroz integral; com médio IG são os com valores de 55 a 69, tais como amido de milho, macarrão, milho, mamão e abacaxi) e com alto IG, a partir de 70 que englobam, por exemplo, bolo comum, beterraba, laranja, cenoura e mel (Siqueira, 2007).

Segundo Sartorelli & Cardoso (2006), a velocidade de absorção dos carboidratos é diretamente influenciada por outros componentes da dieta, como o teor de lipídeos, proteínas e fibras. O teor de lipídeos dos alimentos retarda o esvaziamento gástrico e a velocidade de liberação de nutrientes para a corrente sanguínea, reduzindo o pico hiperglicêmico pós-prandial imediato. Por outro lado, uma dieta rica em proteínas possui ação direta na hipersecreção de insulina, atenuando a elevação da glicemia após as refeições. O efeito das fibras solúveis na redução da velocidade de absorção da glicose vem sendo atribuído tanto ao retardo do esvaziamento gástrico como em decorrência da adsorção e interação com os nutrientes, conferindo menor superfície de contato direto com a parede do intestino delgado. A maior resistência à difusão através da mucosa ocorre em virtude da viscosidade conferida ao bolo alimentar de uma dieta rica

em fibras. Em relação às fibras insolúveis, os dados disponíveis ainda são inconsistentes.

Contudo, ainda existem controvérsias quanto ao uso do IG devido principalmente à falta de estudos bem delineados e à grande variabilidade dos resultados entre os grupos que trabalham com IG, sendo que este último fato, de acordo com Wolever (1997), é decorrente em parte da falta de padronização da metodologia empregada. Para isso, a FAO/WHO (1998) descreveu detalhadamente a metodologia a ser empregada na quantificação do IG de alimentos que foi devidamente validada por Wolever et al. (2003). Mas, por outro lado, existem inúmeros pesquisadores e profissionais que adotaram o IG no planejamento alimentar, a exemplo da European Association for the Study of Diabetes (1995), a qual recomenda que se dê preferência aos alimentos de baixo IG ou ricos em fibras solúveis, a FAO/WHO (1998) que também reconhece a validade da aplicação clínica do IG para diabéticos e indivíduos com intolerância à glicose, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. W. Dietary fiber and human healthy. **Horticultural Science**, v. 25, p. 1488-1495, 1990.

ANDERSON, J. W. Short chain fatty acids in lipid metabolism: human studies. In: CUMMINGS, J. H.; ROMBEAU, J. L.; SAKATA, T. (Ed.). **Physiological and clinical aspects of short chain fatty acids**. New York: Cambridge University, 1995. p.509-523.

ANJO, D. F. C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v.3, n.2, p. 145-154, 2004.

ARAÚJO, J. M. A. **Escurecimento enzimático em alimentos**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 14 p, n. 231. Apostila.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 416 p.

ASAMI, T.; KUBOTA, M.; MINAMISAWA, K.; TSUKIHASHI, T. Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean Highlands. **Journal Soil Science and Plant Nutrition**, v.60, p.122-126, 1989.

ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Fluctuations of oligofructan contents in tuber of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japanese Society of Soil Science Plant Nutrition**, v. 62, p. 621-627, Tokio, 1991.

AUGUSTIN, L. S.; FRANCESCHI, S.; JENKINS, D. J. A.; KENDALL, C. W. C.; LA VECCHIA, C. Glycemic index in chronic disease: a review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, p. 1049-1071, 2002.

AYBAR, M. J.; RIERA, A. N. S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (Yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, p. 125-132, 2001.

BARTOLOMÉ, B.; JIMÉNEZ-RAMSEY, L.M.; BUTLER, L.G. Nature of the condensed tannins present in the dietary fibre fractions in foods. **Food Chemistry**, Barking, v. 53, n. 4, p. 357-362, 1995.

BEZERRA, V. S. **Alterações na composição química e cocção de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas**. 2000. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, I. C. B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, jun., p. 183-186, 2002.

BOTREL, N.; CARVALHO, V.D. Efeito do peso do fruto no escurecimento interno e qualidade do abacaxi. Atividade de polifenoloxidase, peroxidase e compostos fenólicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 6, p. 733-742, 1993.

BOUCHÉ, C.; RIZKALLA, S. W.; LUO, J.; VIDAL, H.; VERONESE, A.; PACHER, N.; FOUQUET, C.; LANG, V.; SLAMA, G. Five-week, low-glycemic index diet decreases total fat mass and improves plasma lipid profile in moderately overweight nondiabetic men. **Diabetes Care**, v. 25, p. 822-828, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n. 18 de 30 de abril de 1999. Estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de maio de 1999. Seção 1. 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 40 de 21 de março de 2001. Estabelece regulamento técnico para rotulagem nutricional obrigatória de alimentos e bebidas embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 de dezembro de 2001. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/4001rdc.html>>. Acesso em: 15 ago. 2002.

BRIGHENTI, F.; CASIRAGHI, M. C., CANZI, E., FERRARI, A.; TESTOLIN, G. One month consumption of ready-to-eat breakfast cereal containing inulin markedly lowers serum lipids in normolipidemic men. In: EUROPEAN NUTRITION CONFERENCE, 7., 1995, Vienna. **Proceeding...** Vienna: Austrian Nutrition Society, 1995.

BUTLER, L. G. New perspective on the antinutritional effects of tannins. In: KINSELLA, J.E.; SOUCIE, B. **Food products**. Champaign: American Oil Chemistry Society, 1989. Cap. 22, p. 402-409.

CABELLO, C. Extração e pré-tratamento de frutanos de yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.2, abr./jun. 2005.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. Substitutos de gorduras. **Boletim do CEPPA**, v. 13, n. 2, p. 125-164, jul./dez. 1996.

CAPITO, S. M. P. **Raiz tuberosa de yacon (*Polymnia sonchifolia*):** caracterização química e métodos de determinação de frutanos (CG e HPLC-DPA). 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual de São Paulo. Departamento de Ciência dos Alimentos, São Paulo.

CARABIN, I. G.; FLAMM, W. G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, New York, v.30, p.268-282, 1999.

CARPITA, N. C.; KAMABUS, J.; HOUSLEY, T. L. Linkage structure of fructans and fructan oligomers from *Triticum aestivum* and *Fistuca arundinaceae* leaves. **Journal Plant Physiology**, v. 134, p. 162-168, 1989.

CHEN, J. H.; HO, C. T. Antioxidant activities of acid caffeic and its related hydroxycinnamic acid compounds. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Chicago, v. 45, n. 7, p. 2374-2378, 1997.

CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T.; TSUSHIDA, T. Contents and cooking loss of three quinic acid derivatives from garland (*Chrysanthemum coronarium L.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1437-1439, 1998.

COELHO, R. G. Interações nutricionais. **Revista de Metabolismo e Nutrição**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 106-117, 1995.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2.ed. Barueri: Manole, 2006. 996p.

CUVELIER, M. E.; RICHARD, H.; BERSET, C. Comparison of antioxidative activity of some acid-phenols; structureactivity relationship. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Tokyo, v. 56, n. 2, p. 324-235, 1992.

DE BRUYN, A.; ALVAREZ, A. P.; SANDRA, P.; DE LEENHEER, L. Isolation and identification of b-D fructofuranosyl – (2 →1) - b-D frustofuranosyl - (2 →1) – D-fructose, a product of the enzymic hidrolisis of the inulin from *Chicorium intyhis*. **Carbohydrate Resource**, v. 4, n. 235, p. 303-308, 1992.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A. Métodos para análise de ácido clorogênico. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 586-592, 2004.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40, jan./jun. 2004.

DIRLEWANGER, M.; SCHNEITER, P.; JÉQUIER, E.; TAPPY, LUC. Effects of fructose on hepatic glucose metabolism in humans. **American Journal Physiology Endocrinology Metabolism.**, v. 279, n. 4, p. E907-11, 2000.

DOO, H. S.; LI, H. S.; KWON, H. L.; RYU, J. H. Changes in sugar contents and storability of yacon under different storage conditions. **Korean Journal Crops Science**. v. 45, n. 5, p. 300-304, 2000.

DURÁN, R. M.; PADILLA, B. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. **Grasas y Aceites**, Sevilla, v. 44, n. 2, p.101-106, 1993.

ESPÍNDOLA, F. S. **Fracionamento dos vegetais verdes e obtenção de concentrados protéicos de folhas (CPF) para suplementação de alimentos e ração animal, com aproveitamento dos subprodutos.** 1987. 130 f. Monografia (Especialização) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

EUROPEAN ASSOCIATION FOR THE STUDY OF DIABETES. Diabetes and nutrition study group. Statement. Recommendations for nutritional management of patients with diabetes mellitus. **Diabetes Nutrition Metabolism**, v. 8, p. 185-189, 1995.

FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant of Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 23-26, June/Mar. 2006.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos.** 2.ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1280 p.

FIALA, V.; JOLIVET, E. Variations quantitatives em composés azotes et glucidiques de raciness d'asperges, mâles et femelles, au cours de leur première année de culture. **Agronomie**, v. 2, p. 735-740, 1982.

FIORDALISO, M.; KOK, N.; DESAGER, J.; GOETHALS, F.; DEBOYSER, D.; ROBERFROID, M.; DELZENNE, N. Dietary oligofructose lowers triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins in rats. **Lipids**, v. 30, p. 163- 167, 1995.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. World Health Organization. **Carbohydrates in human nutrition:** report of a joint FAO/WHO expert consultation. Rome, 1998. 140 p. (Food and Nutrition Paper, 66).

FOSTER-POWELL, K.; HOLT, S. H. A.; BRAND-MILLER, J. C. International table of glycemic index and glycemic load value. **American Journal of Clinical Nutrition**. v. 76, n. 1, p. 5-56, jul. 2002.

FRANCK, A.; Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, supl. 2, p. S287-S291, 2002.

FRESNEDA, L. Y. G.; SÁNCHEZ, M. P.; ÁLVAREZ, R. S.; SANTANA, J. L. Taninos de diferentes especies vegetales en la prevención del fotoenvejecimiento. **Revista Cubana Investigación Biomédica**, Ciudad de la Habana, v.20, n.1, ene.-mar. 2001.

FRČEK, J.; MICHL, J.; PAVLAS, J.; ŠUPICHOVÁ, J. Yacon (*Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl.) – a new perspective tuber and forage crop. **Genet. Zdr. Rastl.**, VŠP, Nitra, p. 73–77, 1995. (In Czech).

GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A., SÁNCHEZ, S. S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, p. 1657-1665, 2005.

GENNARO, S.; BIRCH, G.G.; PARKE, S.A.; STANCHER, B. Studies on the physicochemical properties of inulin and inulin oligomers. **Food Chemistry**, v. 68, p. 179-183, 2000.

GIBSON, G.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonic microbiota introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v. 125, p. 1401-1412, 1995.

GIBSON, G. R.; COLLINS, M. D. **O conceito da microbiota colônica equilibrada, os prebióticos e os simbióticos.** Probióticos, outros fatores nutricionais e a microflora intestinal. Vevey: Nestlé Nutrition Services, 1998. p. 18-21. (Boletim)

GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E.B.; STAMPFER, M. J. Height, body weight and risk of prostate cancer. **Cancer Epidemiologic Biomarkers Prevention**. v. 6. p. 557-663, 1997.

GOTO, K.; KATSUHIKO, F.; JUNKO, H.; FUMIO, N.; YUKIHIKO, H. Isolation and structural analysis fructooligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology, Biochemistry**, v. 59, p. 2346-2347, 1995.

GRAF, E. Antioxidant potential of ferulic acid. **Free Radicals in Biology and Medicine**. v. 13, p. 435-48, 1992.

GRAEFE, S. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**. v. 86, p. 157–165, 2004.

GRAU, A. **Yacon (*Smallanthus sonchifolius* syn. *Polymnia Sonchifolia*) structural analysis of oligosaccharides from yacon**. Disponível em: <<http://www.cipotato.org>>. Acesso em: 28 ago. 2002.

GRAU, A.; REA, J. Genetic resources of yacon *Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. In: HELLER, J.; HERMMAN, M.; ENGELS, J. **Journal Andean roots and tuber genetic resources**. IPGRI - Rome, 1997. p.198-242.

GRAU, A.; REA, J. **Yacon *Smallanthus sonchifolius*. (Poepp. & Endl.)**. Disponível em: <<http://www.cipotato.org>> Acesso em: 15 jul. 2004.

GRIFFITHS, D. W.; BIRCH, A. N. E.; HILLMAN, J. R. Antinutritional compounds in the *Brassicaceae*: analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Invergowrie, v. 73, n. 1, p. 1-18, 1998.

GUADAGNIN, S. G. **Avaliação do teor de nitrato em hortaliças folhosas produzidas por diferentes sistemas de cultivo**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUERRA, N. B.; DAVID, P. R. B. S.; MELO, D. D.; VASCONCELOS, A. B. B. Modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, v. 17, p. 45-52, 2004.

GUIGOZ, Y.; ROCHAT, F.; PERRUISSEAU-CARRIER, G.; ROCHAT, I.; SCHIFFRIN, E. J. Effects of oligosaccharides on the faecal flora and non-specific immune system in elderly people. **Nutrition of Research**, Tarrytown, v. 22, p. 13-25, 2002.

GUPTA, K. et al. Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. **Food Chemistry**, Oxford, v. 2, n. 31, p. 105-116, Jan. 1989.

GUTIERRES, A. P. M.; ALFENAS, R. C. G. Efeitos do índice glicêmico no balanço energético. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia e Metabolismo**. v. 51, n. 3, p. 382-388, 2007.

GUTIÉRREZ, J. R. V. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. **Revista Cubana de Medicina Militar**. v. 31, n. 2, p. 126-33, 2002.

HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulina e oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnologia**. Londrina, v. 23, n. 1, p. 105-118, dez. 2002.

HAULY, M. C. O. **Inulina de dália: extração e avaliação da hidrólise e dos efeitos biológicos do subprodutos**. 1991.185p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IDRIS, N.; ENBONG, M.S.; ABDULLCH, A.; CHEHA, C.M.; HASSAR, H. Performance evaluation of shortenings based on palm oil and butterfat in yellow cake. **Fett/Lipid**, Kuala Lumpur, v. 98, n. 4, p. 144-148, 1996.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary reference intakes for energy. Washington: National Academy, 2005. 1331 p.

ITAYA, N.M.; CARVALHO, M.A.M.; RIBEIRO, R.C.L.F. Fructosyl tranferase and hyfrolase activities in rhizophores and tuberous roots upon growth of *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Physiologia Plantarum**, v. 116, p. 451–459, 2002.

JENKINS, D. J.; KENDALL, C. W. C.; AUGUSTIN, L. S. A.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS. A. L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal Clinical Nutrition**. v. 76, n. 1, p. 266S-73S, 2002.

KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9., 1996, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: CERAT-UNESP, 1996. n. 148.

KOK, N.; ROBERFROID, M.; ROBERT, A.; DELZENNE, N. Involvement of lipogenesis in the lower VLDL secretion induced by oligofructose in rats. **Journal Nutrition**, v. 126, p. 881-890, 1996.

KROHN, N.G.; MISSIO, R. F.; ORTOLAN, M. L.; BURIN, A.; STEINMACHER, D. A.; LOPES, M. C. Teores de nitrato em folhas de alface em função do horário de coleta e do tipo de folha amostrada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 216-219, abril/jun. 2003.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. **Plant Soil Environmental**, v. 49, n. 6, p. 283–290, 2003.

LACHMAN, J.; HAVRLAND, B.; FERNÁNDEZ, E.C.; DUDJAK, J. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant Soil Environmental**, v. 50, n. 9, p. 383–390, 2004.

LAJOLO, L.A.; Functional foods: Latin America perspectives. **British Journal of Nutrition** v. 88, supl. 2, p. S145-S150, 2002.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648 p.

LEITÃO, R.F.F.; PIZZINATTO, A.; VITTI, P.; SHIROSE, I.; MORI, E.E.M. Estudos de duas cultivares de triticale e sua aplicação em produtos de massas alimentícias (macarrão, biscoito e bolos). **Boletim ITAL**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 325-334, 1984.

LIEBMAN, M.; MURPHY, S. Low oxalate bioavailability from black tea. **Nutrition Research**, v. 27, p. 273– 278, 2007.

LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETTI, T. M. Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, p. 776–785, 2007.

LUDWIG, D. S.; MAJZOUN, J.A.; AL-ZAHRANI, A.; DALLAL, G. E.; BLANCO, I.; ROBERTS, S. B. High glycemic index foods, overeating, and obesity. **Pediatrics**, v. 103, n. 3, p. 261-266, 1999.

LUDWIG, D. S. The Glycemic Index: Physiological Mechanisms Relating to Obesity, Diabetes, and Cardiovascular Disease. **JAMA.**, v. 287, n. 18, p. 2414-2423, 2002.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição & dietoterapia**. 11.ed. São Paulo: Roca, 2005. 1242 p.

MAMEDE, M. E. O.; PASTORE, G. M. Compostos fenólicos do vinho: estrutura e ação antioxidante. **Boletim Ceppa**, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 233-252, jul./dez. 2004.

MARANGONI, A. L. **Potencialidade de aplicação de farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

MÁRQUEZ, L. R. **A fibra terapêutica**. São Paulo: CRF Propaganda; 2001. 175p.

MASSEY, L. K.; ROMAN-SMITH, H.; SUTTON, R. A. L. Effect of dietary oxalate and calcium on urinary oxalate and risk of formation of calcium oxalate kidney stones. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 93, n. 8, p. 901-906, 1993.

MATTILA-SANDHOLM, T.; MYLLÄRINEN, P.; CRITTENDEN, R.; MOGENSEN, G.; FONDÉN, R.; SAARELA, M. Technological challenges for future probiotic foods. **International Dairy Journal**, Amsterdam, v. 12, p. 173-182, 2002.

MIDIO, A. F.; MARTINS, D. I. **Toxicologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000.

MILNER, J. A. Functional food and health promotion. **Journal of Nutrition**, Madison, v. 129, p. 1395-1397, 1999. Supplement.

MONTIEL, V. N. **El cultivo de yacon**. Lima, Peru: Instituto Nacional de Investigación Agraria, 1996. p. 19. (Boletín Técnico, 35).

MOSCATTO, J.A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.4, oct./dec. 2004, p. 634-640.

MOSHFEGH, A. J.; FRIDAY, J. E.; GOLDMAN, J. P.; AHUJA, J. K. Presence of inulin and oligofructose in the diets of Americans. **Journal of Nutrition**. v. 129, 1407S–1411S, 1999.

MURAKAMI, A.; MURAKAMI, A.; NAKAMURA, Y.; KOSHIMIZU, K.; TAKAHASHI, D.; MATSUMOTO, K.; HAGIHARA, K.; TANIGUCHI, H.; NOMURA, E.; HOSODA, A.; TSUNO, T.; MARUTAD, Y.; KIM, H. W.; KAWABATA, K.; OHIGASHI, H. FA15, a hydrophobic derivative of ferulic acid, suppresses inflammatory responses and skin tumor promotion: comparison with ferulic acid. **Cancer Lett.**, v. 180, p. 121-129, 2002.

NAKANISHI, T. Cultivation of yacon. **Nogyo oyobi Engei**, v. 72, p. 44-50, 1997.

NARDINI, M.; PISU, P.; GENTILI, V.; NATELLA, F.; DI, M.; PICCOLELLA, F. E.; SCACCINI, C. Effect of caffeic acid on tert-butyl hydroperoxide-induced oxidative stress in U937. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 25, n. 9, p. 1098-1105, 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost crops of the incas**: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington: Academy, 1989. 415 p.

NIETO, C. Estudios agronomicos y bromatologicos en Jicama (*Polymnia sonchifolia* Poep et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 41, n. 2, p. 212-221, jun. 1991.

NILSSON, U.; DAHLQUIST, A. Cereal fructosans characterization and structure of wheat fructans. **Food Chemistry**, v. 22, p. 95-106, 1986.

NINESS, K. R. Inulin and oligofructose: what are they? **Journal Nutrition**, v. 129, p. 1402-1406, 1999. Supplemet.

NORZELLA, E. F. **Determinação de taninos em plantas com potencial forrageiro para ruminantes**. 2001. 58 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, SP.

OHTA, A.; BABA, S.; TAKIZAWA, T.; ADACHI, T. Effects of uctooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium-deficient rat model. **Journal Nutritional Science Vitaminology**. V. 40, p. 171-180, 1994.

OHYAMA, T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; KARAHASHI, T.; INAMISAWA, K.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; ASAMI, T.; Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 167-171, 1990.

ONYENEHO, S. N.; HETTIARACHCHY, N. S. Antioxidant activity, fatty acids and phenolic acids compositions of potato peels. **Journal of Science Food Agriculture**, London, v. 62, p. 345-350, 1993.

PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ZEVALLOS, L.C.; Andean yacon root (*Smallantus sonchifolius* Poepp.)Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 5278-5284, 2003.

PEREIRA, M. C. A.; BARCELOS, M. F. P. **Abordagem especial em nutrição**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 51p. (Especialização Lato Sensu. Nutrição Humana e Saúde).

PEREIRA, R. A.; KOIFMAN, S. Associação entre fatores da dieta e tumores de cérebro em adultos: uma revisão da literatura. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, nov./dez. 2001.

POOL-ZOBEL, B.; VAN LOO, J.; ROWLAND, I.; ROBERFORID, M. Experimental evidences on the potential of prebiotic fructans to reduce the risk of colon cancer. **British Journal of Nutrition**, v. 87, p. 273-281, 2002. (Suplement, 2).

PRAZNIK, W.; BAUMGARTNER, S.; HUBER, A. Determination of molecular composition of inulin by means of enzymatic and chromatographic methods. **Journal Chromatography**, v. 303, p. 417, 1994.

PROSKY, L. What is dietary fibre? New Look at the definition. In: MCCLEARY, B. V.; PROSKY, L. **Advanced dietary fibre technology**. Londres: Blackwell Science, 2001. p. 63-76.

PULLA REDDY, A. C.; LOKESH, B. R. Studies on spice principles as antioxidants in the inhibition of lipid peroxidation of rat liver microsomes. **Molecular and Cellular Biochemistry**, Norwell, v. 111, n. 1/2, p. 117-124, 1992.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R. Development of functional ingredients for gut health. **Trends Food Science Technol.**, Amsterdam, v. 13, p. 3-11, 2002.

QUINTEROS, E. T. T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon**. Campinas, 2000. 164p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

RAJALAKSMI, D.; NARASIMHAN, S. Food antioxidants: sources and methods of evaluation. In: MADHAVI, D. L.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. **Food antioxidants** – technological, toxicological and health perspectives. New York: M. Dekker, 1995. p. 65-157.

RATH, S.; XIMENES, M. I. N.; REYES, F. G. R. Teor de nitrato e nitrito em vegetais cultivados no Distrito Federal: um estudo preliminar. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 54, n. 2, p.126-30, 1994.

REDDY, B. S. Prevention of colon cancer by pre- and probiotics: evidence from laboratory studies. **British Journal of Nutrition**, v. 80, p. S219-S223, 1998. (Suplemento 2).

RÉMÉSY, C.; LEVRAT, M. A.; GAMET, L.; DEMIGNÉ, C. Cecal fermentations in rats fed oligosaccharides (inulin) are modulated by dietary calcium level. **American Journal of Physiology**, v. 264, G855–G862, 1993.

ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin and oligofrutose: a review comparing their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 2, p. 103-148, 1993.

ROBERFROID, M. D. “Defining functional foods”. In: GIBSON, G. R.; WILLIAMS, C. M. **Functional Foods: concept to product**. Cambridge: Woodhead, 2000. p. 9- 28.

ROBINSON, D. S.; ESKIN, N. A. M. **Oxidative enzymes in foods**. New York: Elsevier Applied Science, 1991. 314 p.

RUKKUMANI, R. Ferulic acid, a natural phenolic antioxidant modulates altered lipid profiles during alcohol and thermally oxidized sunflower oil induced toxicity. **Neutraceutic. Funct. Med Foods**, v. 4, p. 119-132, 2004.

RUTHERFORD, P. P.; WHITTLE, R. The carbohydrate composition of onions during long term cold storage. **Journal Horticulture Science**, v. 57, p. 349-356, 1982.

SAAD, S. M. I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 1, jan./mar., p. 1-16, 2006.

SALMERON, J.; MANSON, J.E.; STAMPFER, M.J.; COLDITZ, G.A.; WING, A.L.; WILLET, W. C. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. **JAMA**, v. 277, p. 472-477, 1997.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. K.; KADAM, S. S. **Dietary tannins: consequences and remedies**. Boca Ration: CRC, 1990. 310 p.

SARTORELLI, D.; CARDOSO, M. A. Associação entre carboidratos da dieta habitual e diabetes mellitus tipo 2: evidências epidemiológicas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v. 50, n. 3, p. 415-426, jun. 2006.

SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição** – fator de saúde e desenvolvimento. São Paulo: Almed, 1987. 387 p.

SGARBIERI, V. C. Deterioração e modificações químicas, físicas e enzimáticas de proteínas. In: _____. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades – degradação – modificações**. São Paulo: Varela, 1996. cap.5.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic antioxidants. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 1, p. 67-103, 1992.

SILVA, E. B.; CÂNDIDO, L. M. B. **Processamento de bebida funcional à base do yacon (Polymnia sonchifolia Poepping e Endlicher)**. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, E. B. et al. Correlação entre peso, área e diâmetro de raízes do yacon (*Polymnia sonchifolia* Poepping & Endlicher). In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 8., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PUC, set. 2003. (CD-ROM).

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição de Campinas**, v. 12, n. 1, p. 5-19, jan./abr. 1999.

SIMONOVSKA, B.; VOVK, I.; ANDRENŠEK, S.; VALENTOVÁ, K., ULRICHOVÁ, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal Chromatography A.**, v. 1016, p. 89-98, 2003.

SIQUEIRA, F. Índice glicêmico como ferramenta de auxílio à prescrição de dietas. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 22, n. 1, p. 54-58, 2007.

SKLIUTAS, A. R. **Estudo do desenvolvimento de barra dietética de cereais e goiaba desidratada pelo processo de osmose a vácuo com utilização de fruto-oligossacarídeo.** 2002. 116 p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 71-81, jan./abr. 2002.

SPENCER, C. M.; CAI, Y.; MARTIN, R.; GAFFNEY, S. H.; LILLEY, T. H.; HASLAM, E. Polyphenol complexation – some thoughts and observations. **Phytochemistry**, v. 27, p. 2397-2409, 1988.

STARK, A.; MADAR, Z. **Dietary fiber.** In Functional foods. Goldberg I (Ed). Chapman and Hall. New York, p. 183 –201, 1994.

SRINIVASAN, M.; SUDHEER, A. RAM; PILLAI, K. R.; KUMAR, P. R.; SUDHAKARAN, P.R.; MENON, V.P. Influence of ferulic acid on gamma-radiation induced DNA damage, lipid peroxidation and antioxidant status in primary culture of isolated rat hepatocytes. **Toxicology**, v. 228, p. 249-58, 2006.

SRINIVASAN, M.; RUKKUMANI, R.; RAM, S. A.; MENON, V. P. Ferulic acid, a natural protector against carbon tetrachloride–induced toxicity. **Fundaments in Clinical Pharmacology**., v. 19, p. 491-496, 2005.

STEINBRECHER, U. P.; ZHANG, H. F.; LOUGHEED, M. Role of oxidatively modified LDL in atherosclerosis. **Free Radicals Biology Medicine**, v. 9, n. 2, p. 155-68, 1990.

SUZUKI, M.; CUTCLIFE, J. A. Fructan in onion bulbs in relation to storage life. **Canadian Journal Plant Science**, v.69, p.1327-1333, 1989.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO,H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 793-796, 2003.

TORRES, A. M.; MAU-LASTOVICKA, T.; REZAAIYAN, R. Total phenolics and high-performance liquid chromatography of phenolic acids of avocado. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 35, n. 6, p. 921-925, 1987.

VALENTOVÁ, K.; MONCION, A.; DE WAZIERS, I.; ULRICHOVÁ, J. The effect of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts on rat hepatic metabolism. **Cell Biology and Toxicology Ou Biomedical and Life Sciences**, Netherlands, v. 20, n. 2, mar., p. 109-120, 2004.

VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; DE LEENHEER, L.; HOEBREGS, H.; SMITS, G. Inulin and oligofructose in the western diet. **Critical Review Food Science Nutrition.**, v. 35, n. 6, p. 525- 552, 1995.

VAN REE, L. Nieuws rond de teel van groenten. B. Industriegroenten – 5: waar staan we net de teelt van schorseneer. **Landbouwtidschrift**, v. 3, p. 2361-2364, 1982.

VIJN, I.; SMMENKENS, S. fructan: more than reserve carbohydrate? **Plant Physiol.**, v. 120, p. 351-360, 1999.

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L. A.; KAKIHARA, S. T. O cultivo de Yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 5-8, 2000.

VINSON, J. A.; DABBAGH, Y. A. Tea phenols: antioxidant effectiveness of teas, tea components, tea fractions and their binding with lipoproteins. **Nutrition Research**, Elmsford, v. 18, n. 6, p. 1067-1075, 1998.

VORAGEN, A. G. J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Trends Food Science & Technology**, v. 9, p. 328-335, 1998.

WALKER, A. R. P. Does the dietary fiber hypothesis really "work"? **Cereal Foods World**, v. 38, n. 3, p. 128-134, 1993.

WALKER, R. Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds: a review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. **Food Additives and Contaminants**, v. 7, p. 717-768, 1990.

WANASUNDARA, U.; AMAROWICZ, R.; SHAHIDI, F. Isolation and Identification of an Antioxidative Component in Canola Meal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 1285-1290, 1994.

WEIDMANN, M.; JAGER, M. Synergistic sweeteners. **Food Ingredients Int.**, p. 51-56, nov./dez. 1997 citado por HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulina e oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnologia**. Londrina, v. 23, n. 1, p. 105-118, dez. 2002.

WILLIAMS, R. J.; SPENCER, J. P. E.; RICE-EVANS, C. Flavonoids: antioxidants or signaling molecules? **Free Radicals and Molecular Medicine**, v. 36, p. 838-849, 2004.

WOLEVER, T. M. S. The glycemic index: flogging a dead horse? **Diabetes Care**, v. 20, p. 452-456, 1997.

WOLEVER, T. M. S.; VORSTER, H. H.; BJORCK, I.; BRAND-MILLER, J.; BRIGHENTI, F.; MANN, J. I. RAMDATH, D. D.; GRANFELDT, Y.; HOLT, S.; PERRY, T. L.; VENTER, C.; XIAOMEI, W. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. **European Journal Clinical Nutrition**. v. 57, p. 475-482, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Food and Agriculture Organization. **Joint WHO/FAO expert consultation: diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003.

YAMAZAKI, H.; MATSUMOTO, K. Production of fructooligosaccharide-rich fructose syrup. In: FUCHS, A (Ed.). **Inulin and inulin-containing crops**. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 355-357.

YAN, X.; SUZUKI, M.; KAMEYAMA, M.O.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T.; Extraction and identification of antioxidants in the roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 4711- 4713, 1999.

YOUNES, H.; LEVRAT, M. A.; DEMIGNÉ, C.; RÉMÉSY, C. Relationship between fermentations and calcium in the cecum of rats fed digestible or resistant starch. **Annals of Nutritional Metabolism**, v. 37, p. 311–319, 1993.

ZARDINI, E. Ethnobotanical notes of yacon, *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, v. 45, n.1, p.72-85, 1991.

ZHAOHUI, Z. Iron-induced oxidative damage and apoptosis in cerebellar granule cells: attenuation by tetramethylpyrazine and ferulic acid. **Eur. Journal Pharmacol**, v. 467, p. 41-47, 2003.

ZOPPI, C. C. **Diálogos possíveis: radicais livres, antioxidantes, estresse oxidativo e atividade física.** Disponível em: <<http://www.fsba.edu.br/dialogospossiveis/artigos/3/13.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2006.

ZORZELLA, C. A.; VENDRUSCOLO, J. L.; TREPTOW, R. O. Qualidade sensorial de “chips” de diferentes genótipos de batatas (*Solanum tuberosum* L.), cultivos de primavera e outono no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 57-63, jan./mar. 2003.

CAPÍTULO II

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ASPECTOS BIOQUÍMICOS DO YACON (*Smallanthus sonchifolius*) E DE SUAS FARINHAS

RESUMO

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Composição química e aspectos bioquímicos do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) e de suas farinhas. In: _____. **Estudos químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.** 2008. Cap.2, p.63-105. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Considerando a necessidade do conhecimento sobre as características de fontes alimentares que possuam propriedades funcionais, bem como a elaboração de novas formas de apresentação das mesmas visando seu melhor aproveitamento e conservação, o presente trabalho objetivou avaliar a composição química e bioquímica do yacon *in natura* e a partir do mesmo produzir farinhas das diferentes partes, polpa (FPY) e casca (FCY), e da mesma maneira analisá-las. Para as análises químicas do yacon e farinhas foram realizadas avaliações da composição centesimal, teor de minerais, fibra alimentar total (FAT), fibras insolúveis (FAI) e fibras solúveis (FAS) pelo método enzimico-gravimétrico, pH, SST, ATT, taninos, ácido oxálico e nitrato, além de atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase para o yacon *in natura*. A FPY apresentou rendimento médio de 7,9%, enquanto a FCY 10,9%. Na análise da composição centesimal, para a polpa e casca *in natura* foram detectados alto conteúdo de água e baixos teores de lipídeos e proteínas. Os valores de FAT e suas frações foram maiores para CY e FCY em relação à PY e FPY. Todos os produtos apresentaram maiores concentrações de FAI em relação a FAS. Para todos os minerais analisados foram observados maiores teores na CY e FCY, ao se comparar com PY e FPY, respectivamente. Os taninos foram encontrados em quantidades de 884,3 mg kg⁻¹, 10.396,4 mg kg⁻¹, 1621,4 mg kg⁻¹ e 15.304,5 mg kg⁻¹ na PY, FPY, CY e FCY, respectivamente. Já o nitrato foi obtido nas concentrações de 79,40mg kg⁻¹ na PY, 1027,1 mg kg⁻¹ na FPY, 198,6 mg kg⁻¹ na CY e 1578,3mg kg⁻¹ na FCY. Para o ácido oxálico, o valor encontrado na PY foi de 850,0 mg/100g, na FPY 3.825,0 mg kg⁻¹, na CY 1915,0 mg kg⁻¹ e na FCY 7925,0 mg kg⁻¹. Tanto para taninos, nitrato e ácido oxálico, os menores valores foram obtidos na PY e os maiores na FCY. Ambas PFO e PER apresentaram atividades enzimáticas numericamente superiores na CY quando comparadas com as atividades na PY. Baseando-se nos resultados, pode-se dizer que o yacon e seus derivados são importantes fontes de minerais e carboidratos na dieta, sem riscos de toxicidade.

¹ Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Adelir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira - UNIFAL , Michel Cardoso De Angelis Pereira - EAFB.

ABSTRACT

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Chemical composition and biochemical aspects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and of its flours. In: _____. **Chemical and biochemical studies of *in natura* and processed yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and influence of its consumption on glicemic levels and fecal lipids of rats.** 2008. Chap.2, p.63-105. Dissertation (Master in Food Science)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

Considering the need for the knowledge on the characteristics of food sources which possess functional properties as well as the design of new forms of displaying them aiming at their better use and conservation, the present work intended to evaluate the chemical and biochemical composition of *in natura* yacon and from it producing flours from the different parts, pulp (FPY) and skin (FCY), and in the same manner, to analyze them. For the chemical analyses of yacon and flours, evaluations of the centesimal composition, content of minerals, total food fiber (FAT), insoluble fibers (FAI) and soluble fibers (FAS) were performed by the enzymatic-gravimetric method, pH, SST, ATT, tannins, oxalic acid and nitrate, in addition to enzyme activity of polyphenoloxidase and peroxidase for *in natura* yacon. FPY presented an average yield of 7.94%, while FCY 10.86%. In the analysis of the centesimal composition for the *in natura* pulp and skin, high water content and low contents of lipids and proteins were detected. The values of FAT and its fractions were higher for both CY and FCY relative to PY and FPY. All the products showed higher concentrations of FAI in relation to FAS. For all the analyzed minerals, higher contents in CY and FCY were found in comparing with PY and FPY, respectively. Tannins were found in amounts of 884.3 mg kg⁻¹, 10,396.4 mg kg⁻¹, 1,621.4 mg kg⁻¹ and 15,304.5 mg kg⁻¹ in PY, FPY, CY and FCY, respectively. However, nitrate was obtained in the concentrations of 79.40 mg kg⁻¹ in PY, 1027.1 mg kg⁻¹ in FPY, 198.6 mg kg⁻¹ in CY and 15.783,0 mg kg⁻¹ in FCY. For oxalic acid, the value found in PY was of 850,0 mg kg⁻¹, in FPY 3.825,0 mg kg⁻¹, in CY 1.915,0 mg kg⁻¹ and in FCY 7.925,0 mg kg⁻¹. For tannins, nitrate and oxalic acid, the lowest values were obtained in PY and the highest ones in FCY. Both PFO and PER presented numerically superior enzyme activities in CY as compared with the activities in PY. Basing on the results, one can say that yacon and its derivatives are

¹ Guidance Committee: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Adviser), Adedir A. Sazk – UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL, Michel Cardoso de Angelis Pereira – EAFB.

important dietary sources of minerals and carbohydrates, without any risks of toxicity.

1 INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz tuberosa originária dos países andinos, possui aparência similar à batata doce, sendo o peso e a coloração bastante variáveis (Grau & Rea, 2004).

Pelo fato do yacon ser um alimento com elevado conteúdo de frutanos e de ácidos fenólicos se estabelece como alimento funcional, podendo atuar na prevenção doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). Dessa forma, são necessários estudos que consolidem os conhecimentos sobre seus constituintes.

As raízes de yacon são tradicionalmente consumidas *in natura* ou após a exposição ao sol por vários dias, tratamento este conhecido por aumentar a doçura das raízes. Entretanto, diversas formas de apresentação têm sido utilizadas para o yacon, mas sempre buscando preservar as características nutricionais e funcionais deste alimento. Produtos de conveniência atrativos como sucos, bebidas lácteas contendo yacon, néctares, farinhas, doces e fatias desidratadas tipo “chips” são os mais comumente descritos na literatura. Além disso, folhas de yacon também são bastante utilizadas após desidratação para produção de infusões (Quinteros, 2000; Doo et al., 2000; Grau, 2002).

As raízes do yacon possuem elevado conteúdo de água e a matéria seca, sendo esta última constituída, em sua maior parte, de carboidratos, principalmente frutanos e outras fibras à cuja ingestão são atribuídos efeitos fisiológicos benéficos ao homem. Possui baixa concentração de proteínas e lipídios, e, portanto, reduzido valor energético, apesar de sua suculência e sabor doce. Além disso, a maior parcela dos açúcares solúveis do yacon é constituída de frutose, cujo açúcar não necessita de insulina para ser captado pelas células. Esses fatores vêm justificar a importância de estudos que visem a utilização de yacon na indústria alimentícia como adoçante alternativo à sacarose e elaboração de novos produtos (Kakihara et al., 1996).

Estudos de caracterização de algumas fontes alimentares de baixo custo, qualidade nutricional e aspecto funcional, ainda não bem elucidados, são desafios para pesquisadores, os quais ainda devem buscar o desenvolvimento de produtos alimentícios que possam ser utilizados também por populações de baixa renda. Portanto, o presente trabalho teve por objetivos avaliar a composição química da polpa e casca de yacon *in natura*, além das formas processadas por meio de análise de composição centesimal, minerais, fibra alimentar, bem como de alguns fatores antinutricionais e/ou tóxicos, além de verificar a atividade de algumas enzimas no yacon *in natura*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As análises químicas e bioquímicas do yacon foram realizadas no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras–MG.

As raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foram adquiridas no comércio da cidade de Barbacena, MG. Estas raízes foram caracterizadas quimicamente em relação à casca e polpa *in natura*, além das farinhas.

O fluxograma apresentado na Figura 1 demonstra as etapas que foram realizadas para caracterização química do yacon *in natura* e seus derivados.

2.1 Obtenção das farinhas da casca e da polpa de yacon

A casca do yacon foi extraída com utilização de descascador manual de legumes, separando-se casca e polpa. A polpa foi cortada em lâminas longitudinais com cerca de 1 cm de espessura e, em seguida, estas foram cortadas no sentido transversal também com 1 cm de largura.

Para sanitização e evitar a oxidação excessiva, tanto a casca quanto a polpa foram imersas em solução contendo hipoclorito de sódio a 20 mg L⁻¹ e bissulfito de sódio a 0,1% durante 15 minutos, respectivamente. Após esse procedimento, com auxílio de um escorredor, o líquido foi eliminado. Em seguida, casca e polpa foram submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada a 55°C por 72 horas e 96 horas para secagem, respectivamente.

A casca e polpa secas foram trituradas em aparelho multiprocessador até obtenção de produto com característica de farinha que foi posteriormente peneirado, obtendo-se assim, as respectivas farinhas.

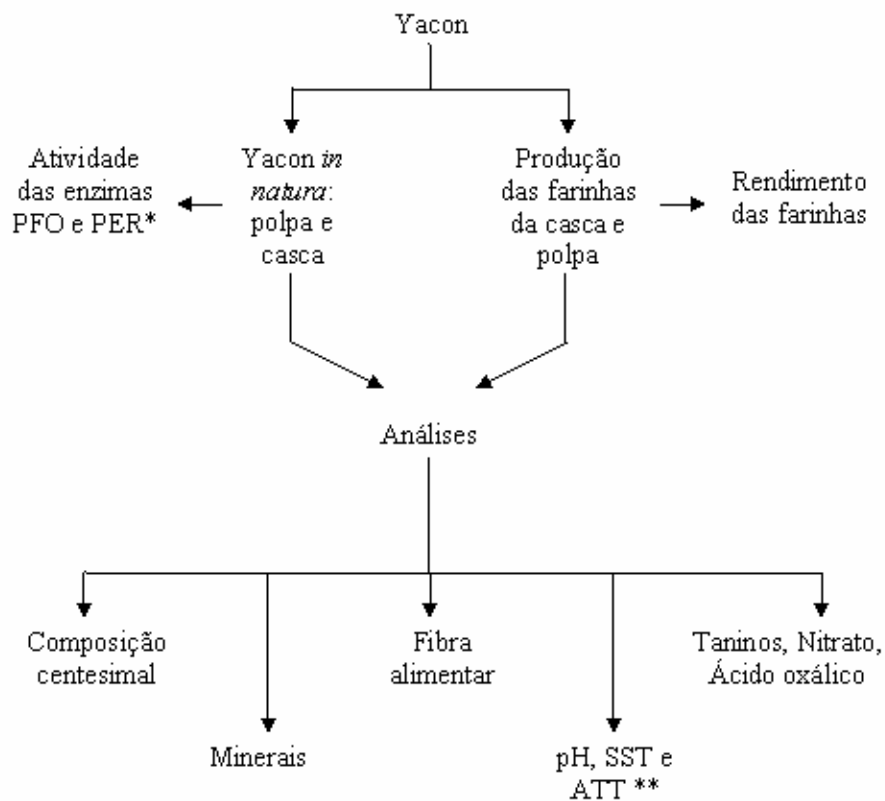


FIGURA 1 Fluxograma das etapas da caracterização química e bioquímica de yacon

* PFO= polifenoloxidase; PER= peroxidase.

* SST= sólidos solúveis totais; ATT= acidez total titulável.

2.2 Rendimento das farinhas

Para o cálculo de rendimento das farinhas foram utilizados quatro lotes de yacon no mesmo estágio de maturação de épocas diferentes, entre os meses de março a junho de 2007. As raízes de yacon foram separadas, selecionadas e pesadas e, em seguida, submetidas à elaboração das farinhas da casca e da polpa

de yacon. Após obtenção das farinhas de cada lote, as mesmas foram pesadas e, então, calculado o percentual de rendimento.

2.3 Análises químicas

Para as análises químicas foram realizadas 4 repetições para cada amostra.

2.3.1 Composição Centesimal do yacon *in natura* (casca e polpa) e das respectivas farinhas

A composição centesimal do yacon *in natura* e produtos derivados foi realizada conforme metodologia proposta pela AOAC (1990). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico com emprego de calor, e que se baseia na perda de peso do material quando submetido ao aquecimento (105° C) até peso constante. Para obtenção do extrato etéreo foi utilizado o método de "Soxhlet" (gravimétrico), baseado na perda de peso do material submetido à extração com éter, ou na quantidade de material solubilizado pelo solvente. A proteína bruta foi determinada pelo método de "Kjeldahl" através da determinação do nitrogênio do alimento multiplicando-se pelo fator 6,25. O resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado submetendo as amostras à incineração a 550°C. A análise de fibra alimentar foi realizada seguindo-se as técnicas propostas pela AOAC (2000), que se baseiam nas análises enzimáticas-gravimétricas. O extrato não nitrogenado (ENN) foi determinado por diferença dos valores encontrados para umidade, extrato etéreo, proteínas, cinzas, e fibras em 100g do produto. Foram realizadas quatro repetições para cada porção da raiz de yacon e tipos de farinha.

2.3.2 Minerais

Os minerais (cálcio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre, cobre, manganês, zinco e ferro) foram determinados pelo método descrito por Malavolta et al. (1997), utilizando espectrômetro de absorção atômica, realizado pelo Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Os valores foram expressos de acordo com a média de quatro repetições para cada tipo de amostra.

2.3.3 Determinação de fibra alimentar

A fibra alimentar total (FAT), fibra alimentar solúvel (FS) e fibra alimentar insolúvel (FI) foram determinadas utilizando-se o Kit-dietary fiber total, marca Sigma[®], seguindo-se as técnicas propostas pela AOAC (2000), que se baseiam nas análises enzimáticas-gravimétricas. Esse método está fundamentado na porção não-hidrolisada do alimento que resiste à digestão enzimática seqüencial com α -amilase, protease e amiloglicosidade e é insolúvel em etanol entre 78% e 98%. Os resultados serão expressos de acordo com a média de quatro repetições para cada tipo de amostra.

2.3.4 Determinação de pH

Foi preparado um extrato com 5g de amostra em 50 mL de água destilada e, após 10 minutos de agitação em agitador magnético, determinou-se o pH, fazendo-se a leitura do líquido sobrenadante em peagâmetro digital, de acordo com a metodologia descrita por Cecchi (2003).

2.3.5 Acidez total titulável

A acidez titulável foi determinada de acordo com método da AOAC (1992), por titulação com NaOH 0,1N até pH 8,2. O resultado foi expresso em porcentagem de ácido málico da amostra que é predominante em yacon (Palomino & Rios, 2004).

2.3.6 Sólidos solúveis totais

A análise foi feita aproveitando-se o mesmo material utilizado para obtenção do pH, conforme descrito por Cecchi (2003). Os sólidos solúveis totais foram determinados por meio de leitura com o auxílio de um refratômetro digital Atago, modelo PR-100 Palette, com compensação de temperatura automática a 25°C e expresso em °Brix, a partir do exsudato das amostras, conforme metodologia proposta pela AOAC (1992).

2.3.7 Determinação de taninos

Os taninos tanto do yacon *in natura* (polpa e casca) quanto das farinhas foram extraídos pelo método de Swain & Hillis (1959), utilizando metanol (80%) como extrator, e identificados de acordo com o método colorimétrico de Folin-Denis, descrito pela AOAC (1990), sendo os valores obtidos, após elaboração da curva padrão, utilizando as leituras feitas com absorbância a 760 nm. Os resultados foram expressos de acordo com a média e desvio-padrão de quatro repetições para cada tipo de amostra.

2.3.8 Determinação de nitrato

O conteúdo de nitrato foi determinado pelo método colorimétrico, conforme Cataldo et al. (1975), onde um complexo é formado pela nitração do ácido salicílico sob condições altamente ácidas e é então lido em espectrofotômetro à 410nm em soluções básicas (pH>12), sendo a absorvância do material diretamente proporcional a quantidade de nitrato presente sem a ocorrência da interferência de íons amônio, nitrito e cloro.

2.3.9 Determinação de ácido oxálico

O ácido oxálico foi determinado por método titulométrico (AOAC, 1990), em que o antinutricional da amostra foi extraído à quente em HCl e ácido caprílico. Em seguida, sofreu precipitação em etapas com adição de ácido tungstofosfórico, solução de oxalato de sódio e ácido sulfúrico. Então, o ácido oxálico, foi quantificado por meio de titulação com permanganato de potássio.

2.4 Análises bioquímicas

2.4.1 Atividade de polifenoloxidase (PFO) e peroxidase (PER)

A atividade de PFO foi determinada pelo método descrito por Teisson (1979), utilizando espectrofotômetro UV-visível (Varian®). O extrato enzimático foi obtido conforme Matsuno-Uritane (1972). A mistura de 0,5 mL de extrato enzimático concentrado, 1,8 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 7,0) e 0,05 mL de catecol 10mM foi incubada a 30°C por 30 minutos. Em seguida, adicionou-se 0,8 mL de ácido perclórico 2N para interromper a reação e a absorvância foi

medida a 395 nm. Uma unidade de atividade de PFO foi definida como o aumento de uma unidade de absorbância por minuto/g de amostra.

A atividade da PER foi obtida de acordo com metodologia da AOAC (1990), a partir da mistura de 3 mL de extrato enzimático (mesmo utilizado para atividade da PFO), 5 ml de tampão fosfato-citrato (0,1M pH 5,0), 0,5 mL de peróxido de hidrogênio 3% e 0,5 mL de guaiacol. Então, a mistura foi incubada a 30°C por 5 minutos. Após esse período, acrescentou-se 1 mL de bissulfito de sódio 30% para interromper a reação e a leitura foi feita a 470 nm.

2.5 Apresentação descritiva dos dados

As determinações de composição química e bioquímica do yacon foram realizadas em quatro repetições e os resultados foram expressos de forma descritiva com a média \pm SD.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Rendimento das farinhas da polpa e da casca de yacon

O rendimento médio das farinhas da polpa e da casca de yacon está apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 Rendimento médio (%) das farinhas da polpa e da casca de yacon.

Farinhas	Rendimento médio (%)
FPY	7,94
FCY	10,86

Legenda: FPY= farinha da polpa de yacon; FCY= farinha da casca de yacon

O rendimento médio da FPY foi inferior (7,94%) ao da FCY (10,86%).

O maior rendimento apresentado pela FCY pode ser justificado pelo fato da casca *in natura* possuir menor conteúdo de umidade que a polpa no mesmo estado (Tabela 2), portanto, a primeira perde menos peso no processo de secagem.

Palomino & Rios (2004) produziram farinha de polpa de yacon com um rendimento médio de 9,85%, sendo este resultado superior ao encontrado no presente estudo (7,94%), fato que pode ser justificado pelo maior tempo de secagem. Viena et al. (2007) também elaboraram uma farinha de polpa de yacon e obtiveram rendimento de 4,57%, valor inferior ao deste estudo.

Fernandes (2006) utilizou cascas de batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) para produção de farinha e obteve um rendimento médio de 9,94%, valor semelhante ao obtido para a FCY (10,86%).

As farinhas produzidas a partir da polpa e da casca de yacon estão demonstradas na Figura 2.

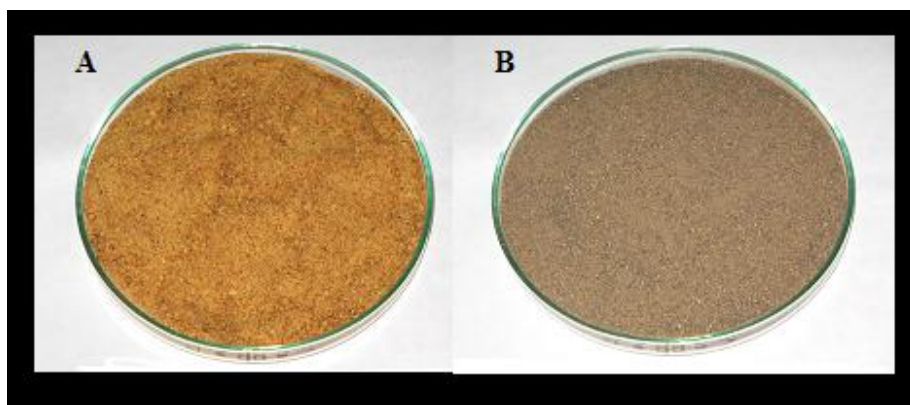


FIGURA 2 Ilustração das farinhas da polpa (A) e da casca (B) de yacon.

De acordo com Doo et al. (2000), como alternativa, o yacon pode ser desidratado e processado em uma série de produtos de conveniência atrativos.

A produção de farinhas a partir de yacon permite uma maior facilidade de manipulação e tempo de conservação, além de requerer menor espaço para o armazenamento. Além disso, segundo Graefe et al. (2004), a secagem e aquecimento paralisam a rápida degradação de FOS em raízes de yacon após a colheita, situação de grande interesse para preservação dessas substâncias que possuem atividades prebióticas e sensoriais específicas.

Segundo Vilhena et al. (2000), tanto as raízes como as folhas podem ser consumidas frescas ou desidratadas em estufas com ventilação forçada, à temperatura máxima de 50°C, para se evitar a degradação dos carboidratos de reserva e das substâncias do metabolismo secundário.

Quinteros (2000) buscando valorizar raízes e tubérculos andinos realizou estudos com o yacon e obteve farinhas, doces e fatias desidratados, no entanto, a estocagem das farinhas proporcionou a formação de massas emboladas duras, mesmo embaladas com polietileno, devido a higroscopicidade dos carboidratos presentes.

3.2 Análises químicas

3.2.1 Composição centesimal

Os componentes do yacon e de suas derivadas farinhas estão demonstrados na Tabela 2.

TABELA 2 Composição química (%) do yacon e farinhas em matéria integral

Componentes	PY*	FPY	CY	FCY
Umidade	87,52 ± 0,45	8,09 ± 1,74	79,04 ± 6,94	4,49 ± 0,40
Lipídeos	0,06 ± 0,01	0,67 ± 0,19	0,29 ± 0,07	1,26 ± 0,17
Proteína	0,43 ± 0,05	4,50 ± 1,26	1,09 ± 0,03	6,06 ± 0,42
Fibra alimentar	1,31 ± 0,08	11,79 ± 0,39	9,68 ± 3,69	38,56 ± 1,06
Cinzas	0,38 ± 0,04	2,88 ± 0,13	1,70 ± 0,31	6,81 ± 0,24
E.N.N.	10,32 ± 0,40	72,07 ± 2,23	8,20 ± 3,58	42,82 ± 0,93

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon; E.N.N.= extrato não nitrogenado.

* valores médios de quatro repetições

Segundo alguns autores (Goto et al., 1995; Kakihara et al., 1996), a porção comestível das raízes de yacon contém de 10 a 14% de matéria seca, sendo a maior parte constituída de carboidratos. Nas pesquisas de Leon (1964), sobre raízes frescas de yacon, constataram 86,6% de umidade, 0,3% de lipídeos, 0,3% de proteínas e 0,5% de fibras, sendo que alguns desses componentes apresentaram valores similares aos encontrados nas análises aqui apresentadas.

O estudo conduzido por Nieto (1991) analisou a composição química das raízes de algumas linhagens de yacon, sendo encontrados os seguintes valores médios: 84,8% de umidade; 0,22% de matéria-graxa; 0,56% de proteínas; 0,52% de fibras; 0,53% de cinzas e 13,37% de carboidratos, o que caracteriza o yacon como um alimento de baixo valor energético e de bom valor

nutricional. Em outro estudo, Vilhena et al. (2000) determinaram também a composição química da polpa de yacon, a qual apresentou valores de 85,93% de umidade; 0,23% de lipídeos; 0,61% de proteínas; 0,46% de fibras; 0,5% de cinzas e 12,27% de carboidratos. Esses dois estudos chegaram a resultados bastante semelhantes entre si, mas diferenciaram-se em relação ao presente trabalho.

Para a porção comestível da raiz de yacon, Palomino & Rios (2004), encontraram os seguintes percentuais para seus componentes em matéria integral: 88,86% de umidade; 0,23% de proteína; 0,10% de lipídeos; 0,41% de fibras; 0,30% de cinzas e 10,10% de carboidratos, percentuais bem próximos aos apresentados neste trabalho, com exceção do conteúdo de fibras.

Palomino & Rios (2004), ao produzirem farinhas da parte comestível de yacon utilizando diferentes temperaturas (40, 50 e 60°C) para secagem, obteve composições percentuais variando entre: 6,05 a 6,80% de umidade, 0,92 a 0,97% de lipídeos, 3,41 a 3,47% de proteínas, 12,12 a 12,20% de fibras, 2,90 a 2,93% de cinzas, e 73,71 a 74,50% de carboidratos. Esses valores foram bastante semelhantes aos encontrados no presente estudo, no qual utilizou-se a temperatura de secagem de 55°C.

Moscatto et al. (2004) elaboraram farinha da polpa de yacon para produção de bolos e encontraram a composição de 4,37% de umidade, 1,07% de lipídeos, 8,32% de proteínas, 3,75% de cinzas e 82,49% de carboidratos. Uma explicação para tais divergências entre o estudo de Moscatto et al. (2004) e o presente trabalho pode estar no fato da utilização de diferentes tempos e temperaturas de secagem das raízes de yacon. Já no trabalho conduzido por León (1964), foram obtidas concentrações de 2,24% de proteínas, 2,24% de lipídeos e 3,73% de fibras, sendo que somente o último componente apresentou valor próximo ao deste estudo.

A farinha da polpa de yacon formulada por Viega et al. (2007) apresentou 4,13% de cinzas, 1,59% de proteína bruta, 14,34% de fibras, 0,26% de lipídeos e 81,27% de carboidratos, valores estes diferentes dos apresentados no presente trabalho.

Estudos são escassos sobre a composição da casca de yacon seja *in natura* ou processada.

Botelho (1998) avaliou quimicamente a casca de abacaxi (*Smooth Cayenne*), visando seu aproveitamento na alimentação humana e obteve as seguintes proporções entre os componentes: 86,34% de umidade, 1,21% de lipídeos, 1,24% de proteínas, 3,11% de fibra bruta, 0,40% de cinzas e 7,70% de carboidratos. Segundo esse autor, ao se comparar esses resultados com outros trabalhos em que se pesquisaram a polpa de abacaxi, pode-se constatar que a casca supera a polpa em relação aos os teores de lipídeos, proteínas, fibras e cinzas. Essa superioridade da casca para alguns nutrientes é semelhante aos resultados obtidos neste estudo com o yacon.

Já a FCY apresentou 4,49% de umidade, 1,26% de lipídeo, 6,06% de proteína, 38,56% de fibras, 6,81% de cinzas e 42,82% de carboidratos.

O baixo teor de umidade das farinhas da polpa (8,09%) e da casca (4,49%) se justifica por estes alimentos já terem sido dessecados no processo de produção, onde a temperatura foi mantida a 55°C sob ventilação forçada.

Fernandes (2006) produziu farinha de casca de batata para ser utilizada na elaboração de pão integral e encontrou a composição de 9,72% de umidade, 1,61% de lipídeos, 5,56% de proteína, 1,46% de fibra bruta, 2,22% de cinzas e 79,59% de carboidratos em base úmida. Os teores de lipídeos e proteínas foram bastante semelhantes aos do estudo atual, porém isso não aconteceu com os demais nutrientes. Além disso, as metodologias empregadas para análise de fibra são divergentes, uma vez que no atual trabalho empregou-se análise de fibra alimentar e no caso de Fernandes (2006), foi realizada análise de fibra bruta.

3.2.2 Minerais

As concentrações dos diferentes minerais analisados no yacon *in natura* e processado são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 Concentração de minerais (mg/100g) no yacon *in natura* e processado

Mineral	PY	FPY	CY	FCY
P	23,4±0,6	195,0±15,2	51,4±2,1	215,0±5,1
K	170,7±24,5	1.276,5±264,4	442,8±63,2	1947,5±125,3
Ca	6,0±1,0	22,5±0,4	50,8±4,3	145,0 ± 15,2
Mg	3,7±0,0	40,0±0,0	49,8±2,0	82,5 ± 4,4
S	9,7±0,6	135,0±11,3	27,8±1,0	250,0 ± 12,4
Cu	0,1±0,0	1,3±0,5	0,2±0,0	1,9 ± 0,7
Mn	n.d.	n.d.	0,1±0,0	0,5 ± 0,0
Zn	0,1±0,0	1,0±0,0	0,3±0,0	1,3 ± 0,0
Fe	0,3±0,0	3,9±0,6	9,6±1,8	44,5 ± 0,7

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon; n.d.= não detectado

* valores médios de quatro repetições

A maioria dos minerais analisados apresentou concentração numericamente maior nas farinhas quando comparados aos produtos *in natura*. As farinhas, assim como outros tipos de concentrados originários dos alimentos, de uma forma geral tendem a apresentar maior concentração de nutrientes, com exceção daqueles termolábeis como vitamina C e algumas vitaminas do complexo B. Isso é relevante pelo fato dessas vitaminas se encontrarem em baixos teores nos produtos que são submetidos à elevação da temperatura, sendo que esses nutrientes podem se volatilizar com a água dos alimentos (Pereira, 2007).

Grau & Rea (1997) encontraram as seguintes quantidades de minerais em matéria integral da polpa de raízes de yacon: 23 mg/100g de cálcio, 0,3 mg/100g de ferro e 21 mg/100g de fósforo, teores estes muito semelhantes aos obtidos neste estudo, com exceção do cálcio.

No estudo de Hermann et al. (1998) citado por Sila & Cândido (2004), o valor obtido para potássio foi de 228,2 mg/100g de matéria integral da polpa de yacon, sendo superior ao encontrado no presente trabalho.

Já Valentová et al. (2001), encontraram também na polpa de yacon, as concentrações de 0,96 mg/100g de cobre, 0,54 mg/100g de manganês e 0,67 mg/100g de zinco. Neste caso, todos os minerais apresentaram concentrações superiores para a polpa de yacon em relação ao atual trabalho.

As diferenças entre os conteúdos de minerais apresentados pelos autores acima citados pode ser devido às regiões de cultivo que podem se diferenciar quanto ao clima, altitude, tipo de solo entre outros fatores.

Fernandes (2006) avaliou o conteúdo de minerais na farinha da casca de batata e encontrou os seguintes valores: 90 mg/100g de fósforo, 500 mg/100g de potássio, 140 mg/100g de cálcio, 80 mg/100g de magnésio, 80 mg/100g de enxofre, 0,5 mg/100g de cobre, 0,6 mg/100g de manganês, 4,2 mg/100g de zinco e 10,8 mg/100g de ferro. Para todos esses minerais, as quantidades da farinha da casca de batata foram inferiores àquelas apresentadas pela FCY, com exceção do zinco para o qual foi observado mais que o triplo da quantidade na farinha da casca de batata.

No trabalho de Gondim et al. (2005), as análises químicas mostraram que as cascas das frutas apresentam, em geral, teores de nutrientes maiores do que os das suas respectivas partes comestíveis, representando fontes alternativas de nutrientes, evitando o desperdício de alimentos. Os minerais desempenham uma função vital no peculiar desenvolvimento e boa saúde do corpo humano e as frutas e vegetais são consideradas importantes fontes de minerais necessários na dieta humana (Hardisson et al., 2001).

Córdova et al. (2005), também encontraram maiores concentrações de minerais como cálcio (28,4 mg/100g), ferro (1,5 mg/100g) e sódio (51,7mg/100g) na casca de maracujá em relação à polpa do mesmo.

Na Tabela 4 estão demonstrados os percentuais de Ingestão Dietética de Referência (DRI) de minerais em 100g das farinhas analisadas em relação às necessidades de um adulto saudável.

TABELA 4 - Percentual da Ingestão Dietética de Referência (DRI) de minerais encontrados nas amostras da polpa *in natura*, farinha da polpa, casca *in natura* e farinha da casca de yacon em 100g para um adulto saudável.

Minerais	PY (%DRI)	FPY (% DRI)	CY (% DRI)	FCY (% DRI)	DRI (mg)
Cálcio	0,6	2,2	5,1	14,5	1.000
Fósforo	3,3	27,9	7,3	30,7	700
Potássio	2,1	27,2	9,4	41,4	4.700
Magnésio	0,9	10,0	12,4	45,6	400
Enxofre*	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Cobre	11,1	145,5	22,2	212,2	0,9
Manganês	0,0	0,0	4,3	21,3	2,3
Zinco	1,3	9,1	2,7	11,8	11
Ferro	3,9	49,2	120,0	556,9	8

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon.

* N.E. = não especificado.

Fonte: Food and Nutrition Information Center, FNIC (2007) com adaptações.

Portanto, pode-se observar que a FPY e FCY são consideráveis fontes de vários minerais, sendo que alguns deles tais como fósforo, potássio, magnésio, cobre e ferro, se encontram em teores que podem suprir em mais de 10% as necessidades diárias de um adulto saudável para cada 100g do produto consumido.

Todavia, vale destacar que as quantidades de alguns minerais presentes em produtos de origem vegetal, tais como ferro e cálcio, podem sofrer interferência em suas biodisponibilidades, uma vez que pode haver comprometimento no processo de absorção intestinal pela presença de taninos, oxalatos, entre outros fatores antinutricionais encontrados nos vegetais. Além disso, o ferro presente nos vegetais se encontra na forma férrica, o qual possui

baixa capacidade de absorção intestinal, sendo necessária a presença de alimentos ricos em ácido ascórbico na mesma refeição para proporcionar sua redução e, conseqüentemente, elevar a sua capacidade de absorção (Martinez & Moyano, 2003; Shils et al., 2003; Cozzolino, 2006).

Por outro lado, alguns estudos têm mostrado que o consumo de alimentos que contenham frutanos, os quais estão presentes no yacon, pode aumentar a absorção de alguns minerais como cálcio e magnésio (Ohta et al., 1994; Delzenne et al., 1995; Younes et al., 2001).

3.2.3 Fibra alimentar

Os teores de fibra alimentar total (FAT), insolúvel (FAI) e solúvel (FAS) estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Teor de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel do yacon *in natura* e processado em matéria integral

Produto	FAT* (%)	FAI** (%)	FAS*** (%)
PY	1,31 ± 0,08	1,12 ± 0,07	0,18 ± 0,02
FPY	12,85 ± 0,42	10,40 ± 0,24	2,42 ± 0,25
CY	9,68 ± 4,20	8,49 ± 3,67	1,19 ± 0,53
FCY	40,38 ± 1,13	35,28 ± 1,03	5,10 ± 0,16

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon.

* Fibra alimentar total; ** Fibra alimentar insolúvel; *** Fibra alimentar solúvel

O conteúdo FAT das farinhas tanto da polpa (12,85%) quanto da casca (40,38%) superaram numericamente os produtos de origem *in natura*, sendo PY 1,31% e CY 9,68%, uma vez que o processo de desidratação concentra essas substâncias. Além disso, os teores de FAT foram também numericamente maiores para CY (9,68%) e FCY (40,38%) em relação à PY (1,31%) e FPY (12,85%), respectivamente.

Em relação às quantidades de FAI, as farinhas derivadas da polpa (10,40%) e da casca (35,28%) apresentam concentrações maiores dessas fibras em relação aos produtos não processados. Adicionalmente, CY (8,49%) e FCY (35,28%) mostraram superioridade numérica em relação ao conteúdo de FAI quando comparados a PY (1,12%) e FPY (10,40%), respectivamente.

A casca e sua farinha derivada apresentaram valores superiores aos encontrados para a polpa e farinha da polpa de yacon.

No estudo de Viega et al. (2007) com polpa de yacon, o conteúdo de fibra alimentar total em matéria seca foi de 14,34%, sendo 9,68% de fibra insolúvel e 4,67% de fibra solúvel. No presente estudo os valores encontrados em matéria seca para FAT, FAI, FAS foram de 10,5%, 8,97% e 1,44%. Dentre as determinações de fibra alimentar, a quantidade de fibra alimentar total e a fração solúvel foram as que mais se distanciaram dos valores encontrados por Viega et al. (2007), possivelmente pela necessidade de se conjugar o método de análise de frutanos à determinação de fibra alimentar.

Lobo (2004) informa que o yacon liofilizado, o qual foi chamado de farinha da polpa de yacon apresentou para FAT um conteúdo de 10,84%, FAI de 7,59% e FAS de 3,25%. Dentre estes valores, a FAT e FAI apresentaram-se numericamente inferiores aos valores obtidos no presente estudo, no entanto, a FAS foi mais expressiva comparada ao atual trabalho.

O teor de fibra de berinjela desidratada em pó foi determinado no estudo de Santos et al. (2002), encontrando para a FAT 44,99% em matéria seca, apresentando-se como significativa fonte de fibra alimentar e com valor superior ao encontrado tanto para a FPY (13,98%) quanto para a FCY (42,28%) em matéria seca.

Raupp et al. (2002), estudando bagaço de mandioca hidrolisado, obtido a partir do descarte sólido de polvilheiras, encontraram um teor de FAT de 60,9%

em matéria seca, valor este superior a todos os produtos analisados neste trabalho.

A farinha de mandioca pesquisada por Souza & Menezes (2004) apresentou 5,68% de FAT, 4,51% de FAI e 1,17% de FAS em matéria integral. Para o produto similar obtido do yacon (FPY), as quantidades de FAT, FAI e FAS foram aproximadamente o dobro da farinha de mandioca.

Gutkoski & Trombetta (1999) estudaram o teor de fibra alimentar total e frações em duas cultivares de aveia e obtiveram a variação de 5,65% a 7,02% de FAI, 5,97% a 6,84% de FAS e 11,63% a 13,86% de FAT. Essas concentrações foram numericamente superiores para FAS e FAT, porém inferior para FAI quando comparadas aos resultados da FPY do atual estudo.

Gondim et al. (2005) avaliaram a composição centesimal de cascas de frutas e encontraram teores de fibra total que variaram de 1,20% no mamão a 10,38% na tangerina e comparou estes resultados com FAT contida na parte comestível dessas mesmas frutas, concluindo que, na maioria delas, a casca possui maiores teores de FAT, fato semelhante ao observado no presente estudo.

Para adquirir diferentes funções fisiológicas exercidas pelas fibras, de forma adequada no organismo, tais como controle da peristalse, prevenção de doenças intestinais, doenças cardíacas coronarianas e dislipidemias, entre outras, o *Food and Drug Administration* (FDA) recomenda que do total de fibras a ser consumido diariamente, a proporção adequada seja de 70-75% de fibras insolúveis e 25-30% de fibras solúveis, ou seja, uma proporção de 70-75:25-30 (Márquez, 2001; Guerra et al., 2004).

Não houve adequada relação entre FAS e FAI para todos os produtos estudados, sendo que eles apresentaram excesso de FAI, sendo neste caso mais indicados para situações de ajuste na dieta quando a proporção de FS estiver alta e/ou indicações para patologias como obstipação intestinal (Waitzberg, 2001;

Mahan & Escott-Stump, 2005). O produto que menos se distanciou da relação recomendada entre os tipos de fibras foi a farinha da polpa de yacon.

É importante enfatizar que os valores de fibra alimentar solúvel e, conseqüentemente os de fibra alimentar total, mostraram-se baixos, pois embora seja de conhecimento que frutanos como inulina e fruto-oligossacarídeos tenham comportamento similar ao de fibra solúvel e são designados como tal, ao se utilizar métodos enzimático-gravimétricos propostos pela AOAC (2000) para determinar fibra alimentar, a fibra solúvel se separa por insolubilização com álcool a 78% v/v, que não precipita aqueles compostos de menor peso molecular, como a inulina e os FOS, de modo que não são quantificados (Lajolo & Menezes, 2006). No presente trabalho, o total de fibra solúvel foi subestimado, uma vez que se utilizou o método de determinação de fibra alimentar proposto pela AOAC. Para tanto, Quemener et al. (1994), propuseram a integração do método de determinação de frutanos com a determinação de fibra alimentar, em que os frutanos devem ser determinados diretamente no produto com um método apropriado e para a determinação de fibra alimentar se recomenda agregar inulinase às enzimas utilizadas para assegurar que não haja dupla quantificação de alguns frutanos de maior peso molecular que poderiam ser retidos na fibra total. Assim, a soma de ambas determinações, frutanos e fibra alimentar solúvel, resulta no total de fibra solúvel. E ao se somar esse valor à fibra insolúvel se obtém a quantidade de fibra alimentar total.

Além disso, deve-se considerar o estágio de maturação do yacon analisado neste trabalho, uma vez que com o amadurecimento desse vegetal, por ação enzimática, frutanos de maior peso molecular podem ser hidrolisados em moléculas menores para serem utilizadas como fonte de energia no processo de florescimento das plantas e, portanto, não seriam quantificadas na íntegra.

No estudo de Genta et al. (2005), foi encontrada a concentração de 58,3% de FOS na farinha da raiz de yacon seco, resultado este que vem

confirmar a necessidade de combinação do método de determinação de fibra alimentar com a quantificação de frutanos.

De acordo com Lajolo & Menezes (2006), devido ao fato de que os frutanos não são mensurados pelos métodos clássicos de determinação de fibra alimentar, conseqüentemente, na maioria das vezes, eles não são mencionados nas tabelas de alimentos.

3.2.4 Análise de pH, sólidos solúveis totais e acidez total titulável

Os resultados de pH, sólidos solúveis totais e acidez total titulável no yacon e farinhas estão apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 Valores de pH, sólidos solúveis totais e acidez total titulável em yacon e farinhas

Produtos	pH	Sólidos solúveis totais (° Brix)	Acidez total titulável (% ácido málico)
PY	5,87	15	0,44
FPY	4,94	42	0,91
CY	5,74	15	0,38
FCY	6,04	34	0,74

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon.

* valores médios de quatro repetições

Vilhena et al. (2000) encontraram pH de 5,53 e acidez total titulável de 1,28% para a polpa de raiz de yacon. De acordo com Palomino & Rios (2004), com o processo de maturação do yacon, o pH e os sólidos solúveis totais aumentam e a acidez total titulável diminui. Portanto, a diferença entre os valores aqui apresentados e os obtidos por Vilhena et al. (2000) pode ser devido ao grau de maturação das raízes.

Estudando raízes de yacon maduras, Palomino & Rios (2004) obtiveram 13,5° Brix para sólidos solúveis totais, acidez total titulável de 0,32% em ácido málico e pH de 5,78, valores próximos aos obtidos no presente estudo.

Palomino & Rios (2004) que também produziram farinha da polpa de yacon, seco em diferentes temperaturas, obtiveram valor de sólidos solúveis totais na faixa de 24 a 27° Brix, acidez total titulável de 0,22% de ácido málico e pH de 5,98 a 6,08. Os resultados de sólidos solúveis e acidez foram inferiores ao atual trabalho. Segundo Carvalho (2000), as diferenças de ATT podem ser influenciadas por fatores ambientais tais como condições climáticas, tipo de solo, práticas culturais e maturidade fisiológica.

A farinha da casca de batata (*Solanum tuberosum* L.) analisada no estudo de Fernandes (2006) apresentou pH de 4,96, portanto, mais ácida que a FCY.

A avaliação de pH e ATT são os dois métodos comumente usados para mensurar a acidez de frutos e hortaliças, determinando a concentração de íon hidrogênio ou pH e a porcentagem de ácido orgânico, respectivamente (Bezerra, 2000).

O período de maturação é o de maior atividade metabólica, assim os ácidos orgânicos constituem uma excelente reserva energética do fruto, através de sua oxidação no ciclo de Krebs. O teor de ácidos orgânicos, com poucas exceções, diminui com a maturação em decorrência do processo respiratório ou da conversão dos mesmos em açúcares (Bezerra, 2000).

Adicionalmente, Hermann et al. (1998) citado por Silva & Cândido (2004) demonstraram que existe uma alta correlação positiva entre o °Brix (SST) e o conteúdo de frutanos ($r = 0,84$) e matéria seca ($r = 0,86$), sugerindo que esta medida pode ser utilizada para a obtenção de informações rápidas desta importante variável.

3.2.5 Taninos, nitrato e ácido oxálico

Os teores de taninos, nitrato e ácido oxálico encontrados no yacon e suas derivadas farinhas estão demonstrados na Tabela 7.

TABELA 7 Teor de taninos, nitrato e ácido oxálico em matéria integral de yacon e respectivas farinhas

Produto	Taninos (mg kg ⁻¹)	Nitrato (mg kg ⁻¹)	Ácido oxálico (mg kg ⁻¹)
PY	884,3	79,4	850,0
FPY	10.396,4	1027,1	3.825,0
CY	1.621,4	198,6	1.915,0
FCY	15.304,5	1578,3	7.925,0

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon.

* valores médios de quatro repetições

3.2.5.1 Taninos

A polpa (884,3 mg kg⁻¹) e casca *in natura* (1.621,4 mg kg⁻¹) apresentaram menores concentrações de taninos em relação às farinhas da polpa e da casca (10.396,4 mg kg⁻¹ e 15.304,5 mg kg⁻¹), respectivamente, porém esses valores devem ser considerados quanto à proporcionalidade de umidade existente nos produtos frescos e nas farinhas.

De acordo com o estudo de Yan et al. (1999), as raízes tuberosas de yacon contêm polifenóis na concentração de 2.030 mg kg⁻¹, valor superior ao encontrado para PY e CY, mas inferior as FPY e FCY analisadas. Por outro lado, Quinteros (2000), encontrou na raiz de yacon em média 438,9 mg kg⁻¹ de fenóis, concentração inferior à encontrada para a PY neste estudo.

A FPY apresentou teores de taninos (10.396,4 mg kg⁻¹) inferiores a FCY (15.304,5 mg kg⁻¹), entretanto, estes valores superaram 1% de taninos(10.000

mg kg⁻¹), que de acordo com Norzella (2001), é um valor considerado alto, podendo interferir na digestibilidade protéica. Caso uma dieta fosse constituída somente de farinhas tanto da casca como da polpa de yacon, o teor de taninos seria considerável e poderia então influenciar a digestibilidade protéica. Mas, considerando que essa situação dificilmente poderia ocorrer, a concentração de taninos nas farinhas da polpa e casca de yacon não trazem expressiva preocupação em relação à biodisponibilidade protéica.

Além disso, de acordo com Cozzolino (2006), existe uma correlação negativa entre o conteúdo de taninos e absorção intestinal de minerais. No entanto, no estudo de Al-Mamary et al. (2001), ao avaliarem o efeito de dietas contendo altas e baixas concentrações de taninos de sorgo sobre a absorção de minerais, observaram que somente as dietas com alto teor de taninos reduziram a absorção de ferro.

A concentração de taninos encontrados nas farinhas não é tão alta, uma vez que a casca e polpa de yacon foram imersas na água, aquecidas no processo de desidratação (55°C) e trituradas para a elaboração das farinhas, processos que podem reduzir taninos. Esses fatos sugerem estudos futuros que avaliem tratamentos diversificados para redução de taninos, sobretudo nas farinhas de casca e polpa de yacon com preservação de seus nutrientes.

Vários autores observaram que os tratamentos físicos e químicos como os hidrotérmicos e moagem dos produtos podem reduzir a concentração e ação antinutricional dos taninos. Deshpande & Salunkhe (1982) observaram redução de ácido tânico em leguminosas após aquecimento a 95°C por 30 minutos, conferindo, inclusive, redução da formação do complexo polifenóis-amido. Já Rao & Deosthale (1982) estudando o teor de taninos em leguminosas, estimaram que entre os métodos de germinação, descorticação e cozimento, o mais efetivo na remoção de tanino foi a descorticação dos grãos resultando em perda de 83 a

97% de tanino. Estes autores também encontraram liberação do tanino do grão para o caldo durante o processo de cozimento.

Contudo, no trabalho de Genta et al. (2005) a farinha da polpa de raiz de yacon foi administrada durante o período de quatro meses para ratos e confirmaram ausência de efeitos tóxicos, uma vez que não houve mortalidade entre os animais, nem mesmo sinais de toxicidade tais como alterações nas mucosas, abdômen e genitália externa, além de não terem apresentado sintomas gastrointestinais como diarreia ou constipação. Além disso, exames histológicos e patológicos não detectaram sinais de células cancerígenas.

É importante ressaltar que apesar de existirem indícios da ação negativa de taninos sobre o valor nutritivo de certos vegetais e outros alimentos, principalmente a redução de digestibilidade de proteínas, a inibição da ação de enzimas digestivas e interferência na absorção de ferro, os efeitos dos taninos na saúde humana ainda são questionáveis devido à limitação de estudos nesta área. Afinal, alguns estudos têm mostrado que taninos também apresentam forte ação antioxidante que, provavelmente, poderá ser mais explorada nos estudos da área de conservação de alimentos e ações no organismo humano (Martinez & Moyano, 2003; Gondim et al., 2005).

3.2.5.2 Nitrato

Normalmente, frutos contêm baixas concentrações de nitratos e não excedem a 10 mg kg^{-1} , embora existam algumas poucas exceções tais como bananas, morangos e tomates que podem atingir níveis acima de 100 mg kg^{-1} (Mídio & Martins, 2000). Esse último grupo de alimentos apresenta valores de nitrato próximos aos encontrados para a polpa ($79,40 \text{ mg kg}^{-1}$) e casca ($198,60 \text{ mg kg}^{-1}$) *in natura*. Já as farinhas, sejam da polpa ou da casca de yacon, apresentaram valores bastante superiores. No entanto, os teores de nitrato obtidos para as farinhas tanto da polpa quanto da casca de yacon representam

menos de 50% dos limites máximos de 3.000 a 4.000 mg kg⁻¹ tolerados na Europa (Benoit & Ceustermans, 1989).

As concentrações de nitrato (1082 mg kg⁻¹ a 1700 mg kg⁻¹) encontradas por Fernandes et al. (2002) em alfaces cultivadas em hidroponia com diferentes soluções nutritivas foram superiores aos valores encontrados para polpa e casca de yacon *in natura*, mas próximos aos valores obtidos para as farinhas da polpa e casca de yacon.

Segundo Mídio & Martins (2000), não são estabelecidas tolerâncias ou limites máximos permitidos para nitratos naturalmente presentes nos alimentos de origem vegetal. Mas, a ingestão diária de nitrato considerada aceitável (sem riscos à saúde) pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de 5 mg kg⁻¹ de peso corporal, além da ingestão desse componente já contido nos alimentos convenientemente preparados (Sgarbieri, 1987). Dessa forma, os teores de nitrato encontrados nas farinhas não são considerados tão altos, pois, supondo um homem com peso de 70 kg, este poderia consumir até cerca de 340g e 230g por dia de farinha da polpa e casca de yacon, respectivamente, sendo que dificilmente se conseguiria uma ingestão maior do que a mencionada para essas farinhas.

3.2.5.3 Ácido oxálico

Nappi et al. (2006) analisaram o teor de ácido oxálico em multimisturas (trigo, fubá, casca de ovo e folha de mandioca) distribuídas no município de Belo Horizonte, MG e obtiveram como resultado o valor de 510 mg kg⁻¹ de amostra, quantidade esta inferior à encontrada no presente estudo para todos os produtos avaliados (PY, FPY, CY e FCY). No entanto, já é bem relatado na literatura que a folha de mandioca possui elevada concentração de ácido oxálico, assim como mostra o estudo de Wobeto et al. (2007), em que os valores variaram entre 13.600 a 28.600 mg kg⁻¹ de amostra de diferentes cultivares, os

quais superam os teores encontrados para o yacon e produtos derivados no atual trabalho.

É importante salientar que dietas com baixas concentrações de cálcio e altas de ácido oxálico não são recomendadas. Contudo, o consumo ocasional de alimentos com alto conteúdo de ácido oxálico, desde que a dieta seja balanceada, problemas não são observados (Savage et al., 2000).

3.3 Análises bioquímicas da polpa e casca de yacon *in natura*

3.3.1 Atividades enzimáticas de polifenoloxidase e peroxidase

As atividades enzimáticas de PFO e PER estão na Tabela 8.

TABELA 8 Valores médios das atividades das enzimas polifenoloxidase (PFO) e peroxidase (PER) em U. g⁻¹. min⁻¹.

Produto	Atividade de PFO (U g ⁻¹ min ⁻¹)	Atividade de PER (U g ⁻¹ min ⁻¹)
PY	81,5 ± 7,8	53,2 ± 5,2
CY	300,2 ± 24,9	1560,6 ± 238,0

Legenda: PY= polpa de yacon; CY= casca de yacon.

A atividade enzimática da PFO apresentou-se numericamente maior na casca (300,2 U g⁻¹ min⁻¹) que na polpa (81,5 U g⁻¹ min⁻¹) de yacon, diferentemente do que ocorre em maçãs em que a maior atividade está presente na polpa e não na casca, conforme o estudo realizado por Wakayama (1995).

Por outro lado, Tchoné & Barwald (2005) estudaram a atividade da PFO em alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus* L.), importante fonte de frutanos (Praznik et al., 1994), e encontraram maior atividade enzimática na casca em relação à polpa desse vegetal. Essa diferença de atividade enzimática

observada entre casca e polpa foi semelhante ao atual estudo com yacon *in natura*.

A atividade da PFO na polpa de yacon foi próxima à encontrada para a mandioca sem branqueamento ($71,1 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$) no trabalho realizado por Bezerra (2000). Também foi semelhante ao valor obtido no estudo com mandioca ($75,0 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$) por Coelho (1992).

Yoshida et al. (2002) determinaram que entre as soluções enzimáticas cruas de batata, cogumelo, chicória e yacon, este último mostrou uma notável atividade oxidativa para bisfenol A que foi convertida para derivado monoquinona e uma pequena parte de derivado bisquinona, portanto, maior atividade de PFO e, conseqüentemente, maior suscetibilidade ao escurecimento enzimático.

A atividade da PFO encontrada para kiwi foi de, aproximadamente, $20,0 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$, para os frutos sem armazenamento, segundo o trabalho de Carvalho (2000), valor bem inferior àqueles observados no presente estudo, tanto para a casca quanto para a polpa de yacon *in natura*, pois no kiwi existe baixa concentração de compostos fenólicos e alto teor de ácido ascórbico, fatores que contribuem para a redução da intensidade das reações de escurecimento enzimático. Contrariamente, o escurecimento enzimático no yacon pode ser favorecido pelo somatório de sua atividade de PFO e da considerável concentração de compostos fenólicos.

Quinteros (2000) avaliou o efeito do branqueamento da raiz de yacon por diferentes métodos em amostras previamente mergulhadas em solução de ácido ascórbico 0,2% e constatou que não foi possível eliminar totalmente a atividade da polifenoloxidase (PFO), sendo necessária uma adição de ácido ascórbico (0,2% p/v) no suco branqueado para evitar alterações na cor. De acordo com Quinteros (2000), a elevada suscetibilidade ao escurecimento pode

ser atribuída ao elevado nível de fenóis encontrados (em média 438,87 mg. kg⁻¹) e à termorresistência da enzima PFO.

No trabalho de Gimenez (1991), avaliando a atividade de peroxidase de mandioca em 3 épocas de armazenamento, observaram atividade enzimática variando de 20 a 80 U. g⁻¹. min⁻¹. A atividade enzimática de peroxidase da polpa de yacon foi próxima ao maior tempo de armazenamento (81,51 U. g⁻¹. min⁻¹) da mandioca. Também foi semelhante à atividade enzimática encontrada por Bezerra (2000) na mandioca sem processamento para inibição de enzimas (84,73 U. g⁻¹. min⁻¹), entretanto, estes resultados foram bem distantes do encontrado para a casca de yacon *in natura* que foi bastante superior.

4 CONCLUSÕES

A polpa e a casca de yacon *in natura* possuem elevado conteúdo de água e baixas concentrações de lipídeos e proteínas, apresentando baixo valor calórico.

A polpa e casca *in natura* e as derivadas farinhas apresentaram maiores concentrações de fibra alimentar insolúvel em relação à fibra alimentar solúvel, embora tenham se apresentado como boas fontes de ambas as frações de fibras. Contudo, todos os produtos analisados não se adequaram à proporção recomendada entre fibra solúvel e insolúvel se consumidos isoladamente.

Os níveis encontrados de taninos, ácido oxálico e nitratos em todos os produtos analisados não são preocupantes quanto à toxicidade e redução do valor nutricional de dietas.

As atividades enzimáticas da polpa e casca de yacon *in natura* são altas, portanto, susceptíveis ao rápido escurecimento enzimático. Contudo, o yacon *in natura* ou processado pode ser utilizado como fonte alimentar rica em carboidratos e, as farinhas possuem consideráveis conteúdos de micronutrientes, fatos que sugerem estudos para o desenvolvimento de novos produtos à base dessa raiz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MAMARY, M.; AL-HABORI, M.; AL-AGHBARI, A.; AL-OBEIDI, A. *In vivo* effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. **Nutrition Research**, v. 21, p. 1393–1401, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association**. 12.ed. Washington, 1990. 1140p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11.ed. Washington, 1992. 1115p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 17.ed. Virginia, 2000.
- BENOIT, F.; CEUSTERMANS, N. Recommendations for the commercial production of butterhead lettuce in NFT. **Soiless Culture**, n. 5, p. 1-12, 1989.
- BEZERRA, V.S. **Alterações na composição química e cocção de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas**. 2000. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- BOTELHO, L. **Avaliação química da casca e cilindro central do abacaxi (Smooth Cayenne), visando seu aproveitamento na alimentação humana**. 1998. 63 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CARVALHO, A.V. **Avaliação da qualidade de kiwis cv. “Hayward”, minimamente processados**. 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid calorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicytic acid. **Soil Plant Analysts**, Athens, v.6, n.1, p.71-80, Sept. 1975.
- CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2.ed. Campinas: Unicamp, 2003

COELHO, A.H.R. **Efeito da idade de colheita sobre o grau de deterioração fisiológica e composição química das raízes de três cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** 1992. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VIEGA, S. D.; OLIVEIRA, V. R.; FUKU, G. Análise química e sensorial de leite com farinha de yacon e sua resposta glicêmica em indivíduos saudáveis. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS, 7., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Latino Americana de Ciência de Alimentos, 2007.

CÓRDOVA, K.R.V.; GAMA, T. M.M. T. B.; WINTER, C. M. G.; KASKANTZIS NETO, G.; FREITAS, R. J. S. Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa degener) obtida por secagem. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.23, n.2, p.221-230, jan./jun. 2005.

COZZOLINO, S.M.F. **Biodisponibilidade de nutrientes.** 2.ed. Barueri: Manole, 2006. 996p.

DESHPANDE, S.S., SALUNKHE, D.K. Interactions of tannic acid and catechin with legume starches. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 47, n. 6, p. 2080-2083, 1982.

DELZENNE, N.; AERTSENS, J.; VERPLAETSE, H.; ROCCARO, M.; ROBERFROID, M. Effect of fermentable fructooligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. **Life Science**, v. 57, p. 1579-1587, 1995.

DOO, H. S.; LI, H. S.; KWON, H. L.; RYU, J. H. Changes in sugar contents and storability of yacon under different storage conditions. **Korean Journal Crops Science**. v. 45, n. 5, p. 300-304, 2000.

FERNANDES, A.A. MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Nutrient sources affecting yield, nitrate concentration and nutritional status of lettuce cultivars, in hydroponics. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, 2002, p. 195-200.

FERNANDES, A.F. **Utilização da farinha de casca de batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) na elaboração de pão integral.** 2006. 127 p. Dissertação (Mestrado em ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FOOD AND NUTRITION INFORMATION CENTER. **Dietary recommended intakes.** Disponível em:

<http://fnic.nal.usda.gov/nal_display/index.php?info_center=4&tax_level=3&tax_subject=256&topic_id=1342&level3_id=5140>. Acesso em: 10 maio 2007.

GENTA, S.B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A., SÁNCHEZ, S. S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v.43, p.1657-1665, 2005.

GIMENEZ, R. **Deterioração fisiológica e alguns componentes químicos em seções de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Guaxupé durante o armazenamento.** 1991. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

GONDIM, J.A.M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Centesimal composition and minerals in peels of fruits. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.

GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJI, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis fructooligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology, Biochemistry**, v.59, p.2346-2347, 1995.

GRAEFE, S. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v.86, p.157–165, 2004.

GRAU, A. **Yacon (*Smallanthus sonchifolius* syn. *Polymnia Sonchifolia*) structural Analysis of Oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*).** Disponível em: <<http://www.cipotato.org>> Acesso em: 28 ago. 2002.

GRAU, A.; REA, J. Genetic resources of yacon *Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. In: HELLER, J.; HERMMAN, M.; ENGELS, J. **Andean roots and tuber genetic resources.** Rome: IPGRI, 1997. p.198-242.

GUERRA, N.B.; DAVID, P.R.B.S.; MELO, D.D. de; VASCONCELOS, A.B.B.; GUERRA, M.R.M. Modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, v.17, p.45-52, 2004.

- GUTKOSKI, L.C.; TROMBETTA, C. Evaluation of dietary fiber and beta-glucan levels in oat (*Avena sativa* L) cultivars. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 387-390, 1999.
- HARDISSON, A.; RUBIO, C.; BAEZ, A.; MARTIN, M.; ALVAREZ, R.; DIAZ, E. Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. **Food Chemistry**, v.73, p.153-161, 2001.
- HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. **CIP Program Report**, Lima, Peru, p.425-432, 1997/98 citado por
- SILVA, E. B.; CÂNDIDO, L. M. B. **Processamento de bebida funcional à base do yacon (*Polymnia sonchifolia* Poepping e Endlicher)**. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9., 1996, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: CERAT-UNESP, 1996. n. 148.
- LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.
- LEÓN, J. **Andean nutritional plants**. Zona Andina, Lima, Perú: IICA, 1964. p.57-62. (Boletín Técnico, 6).
- LOBO, A.R. **Efeito dos frutanos (frutooligossacarídeos) na biodisponibilidade de cálcio e magnésio em ratos**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9132/tde-20072004-135934>>. Acesso em: 10 maio 2007.
- MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição & dietoterapia**. 11.ed. São Paulo: Roca, 2005. 1242p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

- MÁRQUEZ, L. R. **A fibra terapêutica**. São Paulo: CRF Propaganda; 2001. 175p.
- MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant and Cell Physiology**, Tóquio, v.13, p.1091-1101, Apr. 1972.
- MARTÍNEZ, T.F.; MOYANO, F.J. Effect of tannic acid on *in vitro* enzymatic hydrolysis of some protein sources. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, n.5, p.456-464, 2003.
- MIDIO, A.F.; MARTINS, D.I. **Toxicologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000.
- MOSCATTO, J.A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.4, oct./dec. 2004, p. 634-640.
- NAPPI, G.U.; RIBEIRO-CUNHA, M. R.; COELHO, J. V.; JOKL, L. Validation methods to determine phytic and oxalic acids in "multimisturas". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, 2006, p. 811-820.
- NIETO, C. Estudios agronomicos y bromatologicos en Jicama (*Polyminia sonchifolia* Poep et Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.41, n.2, p.212-221, June 1991.
- NORZELLA, E.F. **Determinação de taninos em plantas com potencial forrageiro para ruminantes**. 2001. 58p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, SP.
- OHTA, A.; BABA, S.; TAKIZAWA, T.; ADACHI, T. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium-deficient rat model. **Journal Nutritional Science Vitaminology**, v. 40, p. 171–180, 1994.
- PALOMINO, R. G. Q.; RIOS, A. C. Obtención y caracterización fisicoquímica del harina de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). 2004. Disponível em: <<http://www.uncp.edu.pe>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

PEREIRA, M.C.A. **Influência do consumo de farinhas da polpa e casca de banana e do fermentado de quefir nos níveis glicêmicos e lipidêmicos de ratos.** 2007. 127p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PRAZNIK, W., BAUMGARTNER, S., HUBER, A. Determination of molecular composition of inulin by means of enzymatic and chromatographic methods. **Journal of Chromatography**, v. 303, p. 417, 1994.

QUEMENER, B.; THIBAUT, J.F.; COUSSEMENT, P. Determination of inulin and oligofructose in food products and integration in the AOAC method for measurement of total dietary fiber. **Lebensm.-Wiss. U- Technol.**, v.27, p.125-132, 1994.

QUINTEROS, E.T.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon.** 2000. 164p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

RAO, P.U.; DEOSTHALE, Y.G. Tannin content of pulses: varietal differences and effects of germination and cooking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.33, n.10, p.1013-1016, 1982.

RAUPP, D.S.; MARQUES, S. H. P.; ROSA, D. A.; CALDI, C. M.; CREMASCO, A. C. V.; BANZATTO, D. A. Arraste via fecal de nutrientes da ingestão produzido por bagaço de mandioca hidrolisado. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.235-242, 2002.

SANTOS, K.A. Composição química da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.20, n.2, p.247-256, jul./dez. 2002.

SAVAGE, G.P.; VANHANEN, L.; MASON, S. M.; ROSS, A. B. Effect of cooking on the soluble and insoluble oxalate content of some New Zealand foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, Orlando, v. 13, n. 3, p. 201-206, 2000.

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento.** São Paulo: Almed, 1987. 387p.

SHILS, M.E.; OLSON, J. A.; SHIKE, M.; ROSS, A. C. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença.** 9.ed. São Paulo: Manole, 2003. v.1/2, 2105p.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C. Processing of Brazil nut and meal and cassava flour: quality parameters. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.1, p. 120-128, 2004.

SWAIN, T.; HILLIS, E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of Science Food and Agriculture**, v.10, p.63-68, 1959.

TCHONÉ, M.; BARWALD, G. Polyphenoloxidases in jerusalém artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **British Food Journal**, v.107, n.9, p.693-701, 2005.

TEISSON, C. Le brunissement interne de l'ananas. I-Historique. II-Material et méthodes. **Fruits**, Paris, v.34, n.4, p.245-281, avr. 1979.

VALENTOVÁ, K.; FRČEK, J.; ULRICHOVÁ, J. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and maca (*Lepidium meyenii*), traditional Andean crops as new functional foods on the European market. **Chemistry Listy**, v.95, p.594-601, 2001.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T. O cultivo de Yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v.18, n.1, p.5-8, 2000.

WAITZBERG, D.L. **Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3.ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 1858p.

WAKAYAMA, T. Polyphenol oxidase activity in Japanese apples: differences among cultivars and prevention by heat, ascorbic acid, and reduced oxygen. In: LEE, C.Y.; WHITAKER, J.R. **Enzymatic browning and its prevention**. Washington: American Chemical Society, 1995. 338p.

WOBETO, C.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D.; PEREIRA, H. V. Antinutrients in the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaf powder at three ages of the plant. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.1, p.108-112, jan./mar. 2007.

YAN, X. J.; SUZUKI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agriculture and the Food Chemistry**, v. 47, p. 4711–4713, 1999.

YOSHIDA, M.; ONO, H.; MORI, Y.; CHUDA, Y.; MORI, M. Oxygenation of bisphenol A to quinones by polyphenol oxidase in vegetables. **Journal of Agriculture and the Food Chemistry**, v.50, p.4377–4381, 2002.

YOUNES, H.; COUDRAY, C.; BELLANGER, J.; DEMIGNÉ, C.; RAYSSIGUIER, Y.; RÉMÉSY, C. Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats. **British Journal of Nutrition**. v. 86, p. 479–485, 2001.

CAPÍTULO III

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ÁCIDOS FENÓLICOS EM YACON E PRODUTOS DERIVADOS

RESUMO

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Identificação e quantificação de ácidos fenólicos em yacon e produtos derivados. In: _____. **Estudos químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.** 2008. Cap.3, p.107-132. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Os ácidos fenólicos são descritos como antioxidantes naturais presentes em alimentos e a busca por alimentos com ação funcional no organismo tem sido crescente no campo científico. Este trabalho objetivou identificar e determinar as concentrações dos ácidos fenólicos (clorogênico, ferúlico e caféico) no yacon *in natura* e em suas farinhas. As amostras foram extraídas com BHT 0,1% em metanol e ácido acético 10% e depois centrifugadas. Realizou-se um *clean-up* com sílica C18 e as mesmas foram filtradas em membrana 0,45µm. As análises cromatográficas foram realizadas em sistema HPLC acoplado a um detector espectrofotométrico na região do UV/Vis fixado em comprimento de onda de 330nm. As amostras foram injetadas em uma coluna (250 x 4,6 mm, 5 µm) conectada em pré-coluna analítica e a fase móvel utilizada foi composta pelos solventes: metanol 100%- solvente A - e solução de ácido acético aquoso 2% - solvente B. Foi empregado um sistema do tipo gradiente, o fluxo aplicado nas análises foi de 1,1 mL min⁻¹ e o volume de injeção foi de 20 µL. Os ácidos fenólicos das amostras foram identificados por comparação aos tempos de retenção dos picos cromatográficos das soluções- padrões e quantificados utilizando-se curvas analíticas construídas para os diferentes ácidos fenólicos, plotando as áreas dos picos de cada um dos compostos versus sua concentração utilizada. As análises foram realizadas em triplicata. Na polpa de yacon *in natura* (PY), obteve-se 39,0 mg kg⁻¹ de ácido clorogênico; 27,0 mg kg⁻¹ para ácido caféico e 3,0 mg kg⁻¹ de ácido ferúlico em matéria integral. Na farinha da polpa de yacon (FPY) encontrou-se 294,0 mg kg⁻¹ de ácido clorogênico, 417,0 mg kg⁻¹ de ácido caféico e 30,0 mg kg⁻¹ de ácido ferúlico em matéria integral. A casca de yacon *in natura* (CY) apresentou teores de 9,0 mg kg⁻¹ de ácido clorogênico; 12,0 mg kg⁻¹ de ácido caféico e 2,0 mg kg⁻¹ de ácido ferúlico em matéria integral. Já para a farinha da casca de yacon (FCY) obteve-se 31,0 mg kg⁻¹ de ácido clorogênico, 56 mg kg⁻¹ de ácido caféico e 5,0 mg kg⁻¹ de ácido ferúlico em matéria integral. A FPY e a PY apresentaram-se numericamente como as maiores fontes dos ácidos fenólicos estudados, e o processo de desidratação causou a concentração destes ácidos, tanto na polpa quanto na casca de yacon.

¹ Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Adélir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL, Michel Cardoso de Angelis Pereira – EAFB.

ABSTRACT

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Identification and quantification of phenolic acids in yacon and derived products. In: _____. **Chemical and biochemical studies of *in natura* and processed yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and influence of its consumption on glycemic levels and fecal lipids of rats.** 2008. Chap.3, p.107-132. Dissertation (Master in Food Science)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

Phenolic acids are reported in the literature as natural antioxidants present in foods and the search for foods with such a functional action in the organism has been growing in the scientific field. This work aimed to identify and determine the concentrations of phenolic acids (chlorogenic, ferulic and caffeic) in *in natura* yacon and its flours. The samples were extracted with 0.1% BHT in methanol and 10% acetic acid and afterwards centrifuged. A clean-up was performed and at last, filtering in a 0.45µm membrane. The chromatographic analyses were conducted in a HPLC system with a ternary bomb and automatic injector. A spectrophotometric detector was utilized in the UV/Vis region with wavelength set at 330nm. The samples were injected into a (250 x 4.6 mm, 5 µm) column connected onto a analytical pre-column and the utilized mobile phase was made up of the solvents: 100% methanol (HPLC degree) solvent A – and solution of 2% aqueous acetic acid- solvent B. A gradient type system was employed; the flow applied in the analyses was constant at 1.1 mL. min⁻¹ and the volume of injection was of 20 µL. The phenolic acids of the samples were identified by comparison to the retention times of the chromatographic peaks of the –standard- solutions and quantified by utilizing analytical curves constructed for the different phenolic acids, plotting the areas of the peaks of each of the compounds versus their utilized concentration. The analyses were performed in 3 replicates. In the *in natura* yacon pulp (PY), 39,0 mg kg⁻¹ of chlorogenic acid; 27,0 mg kg⁻¹ for caffeic acid and 3,0 mg kg⁻¹ of ferulic acid in integral matter were obtained. In yacon pulp flour (FPY), 294,0 mg kg⁻¹ of chlorogenic acid, 417,0 mg kg⁻¹ of caffeic acid and 30,0 mg kg⁻¹ of ferulic acid in integral matter were found. The *in natura* yacon skin (CY) presented contents of 9,0 mg kg⁻¹ of chlorogenic acid; 12,0 mg kg⁻¹ of caffeic acid and 2,0 mg kg⁻¹ of ferulic acid in integral matter. However, for yacon skin flour (FCY), one obtained 31,0 mg kg⁻¹ of chlorogenic acid, 56,0 mg kg⁻¹ of caffeic acid and 5,0 mg kg⁻¹ of ferulic acid in integral matter. Both FPY and PY presented themselves numerically as the greatest sources of studied phenolic acids and the dehydration process caused the concentration of these acids both in the yacon pulp and in the skin.

¹ Guidance Committee: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Adviser), Adedir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira – UNIFAL, Michel Cardoso de Angelis Pereira – EAFB.

1 INTRODUÇÃO

Alguns alimentos, principalmente de origem vegetal contêm agentes antioxidantes, a exemplo dos compostos fenólicos, que são capazes de restringir a propagação das reações em cadeia e as lesões induzidas pelos radicais livres quanto inseridos na dieta (Bianchi & Antunes, 1999).

Os radicais livres são produzidos continuamente no organismo humano e atuam como mediadores para a transferência de elétrons, desempenhando funções relevantes no metabolismo. Porém, o excesso destes que pode ocorrer em situações como a exposição a radiações gama e ultravioleta, fumo, situações de estresse, entre outros, apresentam efeitos prejudiciais como a peroxidação dos lipídios de membrana e agressão às proteínas dos tecidos e das membranas, às enzimas, carboidratos e DNA, relacionando-se com várias patologias, a citar aterosclerose, doenças do coração, câncer, diabetes, doença de Parkinson, doença de Alzheimer e outras, além do envelhecimento (Gutiérrez, 2002; Halliwell & Gutteridge, 1999).

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) contém considerável quantidade de compostos fenólicos, tais como ácidos clorogênico, caféico, ferúlico e outros, os quais demonstram atividade antioxidante e, conseqüentemente, podem proteger as membranas celulares e outros tecidos contra danos provocados pelos radicais livres (Yan et al., 1999).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou identificar a presença de ácidos fenólicos como o clorogênico, caféico e ferúlico, bem como quantificá-los no yacon (polpa e casca) e nas derivadas farinhas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, Lavras, MG e as análises cromatográficas foram realizadas no Departamento de Zootecnia da mesma Universidade.

Os padrões dos ácidos fenólicos utilizados neste trabalho foram: ácido caféico, ácido clorogênico e ácido ferúlico (Sigma). O solvente metanol (Merck) de grau HPLC e o reagente ácido acético (Merck) foram utilizados na composição da fase móvel para separação dos ácidos fenólicos. Água desmineralizada foi obtida a partir da purificação no sistema Milli-Q (Millipore) e utilizada no sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

2.1 Preparo dos padrões para as análises cromatográficas

Soluções-estoque foram preparadas nas concentrações de 1×10^{-4} mol L⁻¹ dos padrões de ácido caféico e ferúlico solubilizados em metanol com 2% de ácido acético. O padrão de ácido clorogênico foi preparado na concentração de 1×10^{-5} mol L⁻¹ solubilizado em metanol e água purificada Milli-Q na proporção de 60:40 (v/v).

2.2 Extração das amostras

A extração das amostras foi realizada de acordo com a metodologia utilizada por Simonovska et al. (2003) com adaptações. A uma parcela de 0,5g de cada amostra (polpa *in natura*, casca *in natura*, farinha da polpa e farinha da casca) foram acrescidos 8,5 mL de solução BHT 0,1% em metanol (grau HPLC) e 1,5 mL de ácido acético 10% em água Milli-Q. Realizou-se um processo de maceração nos sólidos contidos na solução e, posteriormente, seguiu-se com a centrifugação das soluções. O sobrenadante foi filtrado em papel filtro. Então,

submeteu-se o filtrado a um *clean-up* com auxílio de bomba de pressão (Prismatec[®]), sendo utilizada pipeta de Pasteur preenchida com sílica C18 mantida por algodão nas extremidades. A solução extraída foi filtrada em membrana 0,45 µm (Millipore) e, finalmente, foi obtida a solução teste.

2.3 Análises cromatográficas

As análises cromatográficas foram realizadas em um sistema HPLC Varian equipado com uma bomba ternária (Varian[®] modelo 9012), um injetor automático (Varian[®] modelo 9300). O detector empregado no sistema HPLC foi um detector espectrofotométrico na região do UV/Vis (Varian[®] modelo 9050) com comprimento de onda fixado em 330 nm em todas as análises.

As amostras já extraídas de yacon foram injetadas em uma coluna CLC-ODS Varian[®] (250 x 4,6 mm, 5 µm) conectada a uma pré-coluna analítica Varian[®] e a fase móvel utilizada foi composta pelos solventes: metanol 100% (grau HPLC) solvente A - e solução de ácido acético 2% - solvente B. Foi empregado um sistema do tipo gradiente e a composição da fase móvel otimizada está representada na Tabela 1. O fluxo aplicado em todas as análises foi de 1,1 mL min⁻¹ e o volume de injeção tanto dos padrões quanto das amostras foi de 20 µL.

TABELA 1 Gradiente de eluição das fases móveis para a determinação de ácidos fenólicos por HPLC

Tempo (min)	Grau de eluição da fase móvel	
	Fase A (%)	Fase B (%)
0,01	10	90
15,0	33	67
20,0	33	67
30,0	55	45
40,0	100	---
50,0	10	90
60,0	10	90

* FM= Fase móvel: A- metanol puro grau HPLC; B- solução de ácido acético 2%.

2.4 Determinação e quantificação dos ácidos fenólicos em amostras de yacon

Os ácidos fenólicos foram determinados no yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por comparação com o tempo de retenção da solução padrão de cada ácido injetado individualmente. Para a quantificação utilizaram-se curvas analíticas que foram construídas para os diferentes ácidos fenólicos por meio de diluições das soluções-estoque. As curvas analíticas foram determinadas por regressão linear, plotando as áreas dos picos de cada um dos compostos a 330 nm versus sua concentração utilizada.

2.5 Apresentação descritiva dos dados

Todas as análises foram realizadas em triplicata, a fim de obter o desvio experimental dos resultados que foram expressos com a média \pm SD. Foram realizadas análises de regressão para a construção das curvas analíticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação qualitativa dos ácidos fenólicos do yacon

Após a metodologia de extração dos ácidos fenólicos em amostras de yacon (polpa *in natura*, casca *in natura*, farinha da polpa e farinha da casca), as alíquotas foram injetadas no sistema HPLC. A identificação destes compostos foi realizada comparando o tempo de retenção da solução padrão de cada ácido injetado individualmente.

Os cromatogramas das soluções padrão dos ácidos clorogênico, caféico e ferúlico, bem como da mistura dos ácidos estão apresentados nas Figuras 1 a 4.

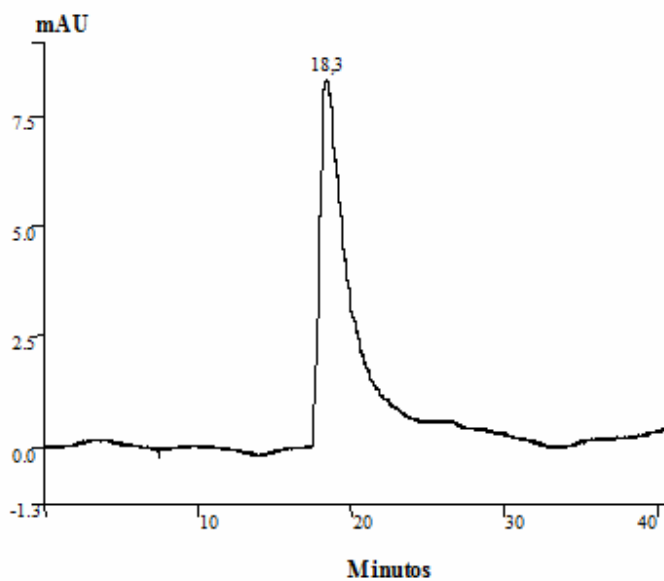


FIGURA 1 Cromatograma da solução-padrão de ácido clorogênico a 1×10^{-5} mol. L⁻¹ ($t_R=18,3$ min) com detecção espectrofotométrica a 330 nm.

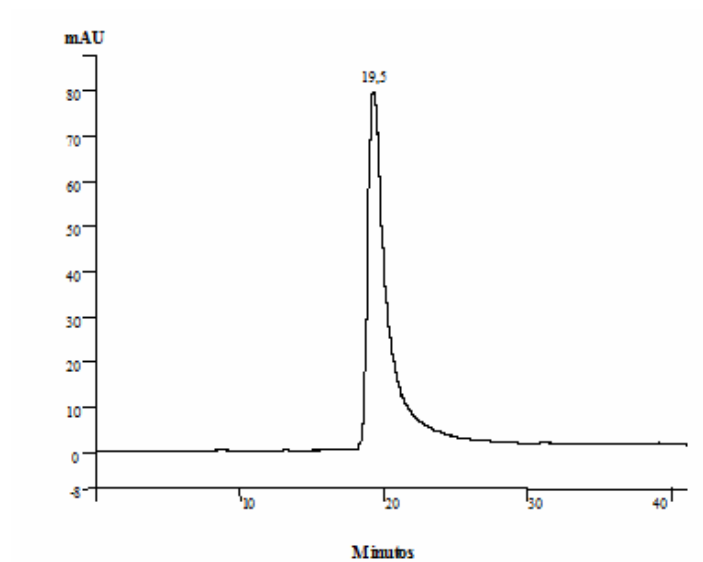


FIGURA 2 Cromatograma da solução- padrão de ácido caféico na concentração de 1×10^{-4} mol L^{-1} ($t_R=19,5$ min) com detecção espectrofotométrica a 330 nm.

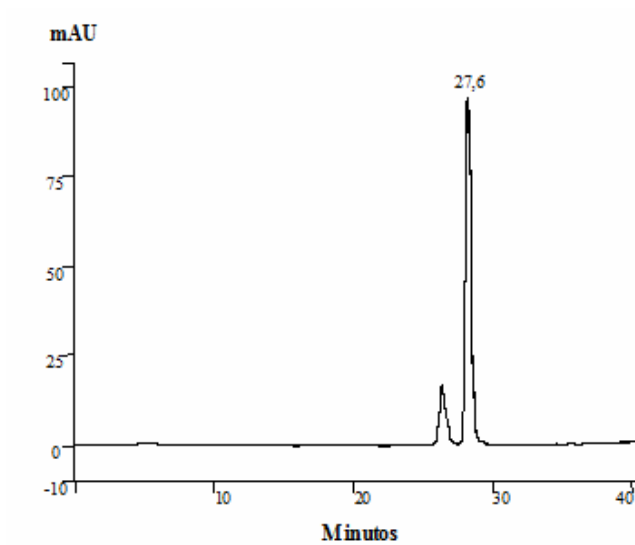


FIGURA 3 Cromatograma da solução-padrão de ácido ferúlico ($t_R=27,6$ min) na concentração de 1×10^{-4} mol L^{-1} com detecção espectrofotométrica a 330 nm.

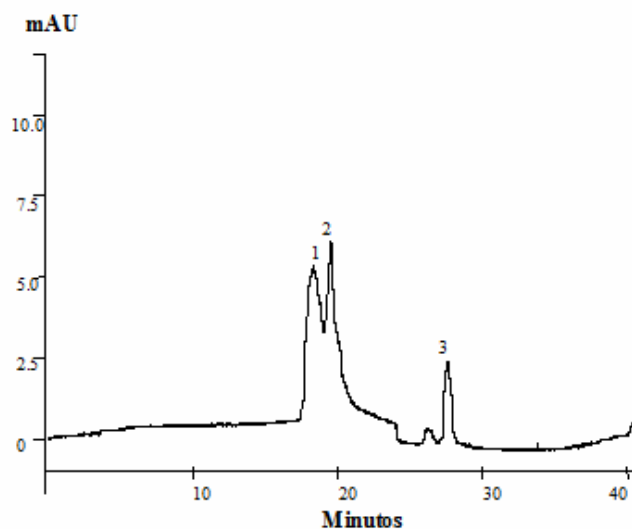


FIGURA 4 Cromatograma da solução-padrão contendo a mistura dos compostos 1- ácido clorogênico ($t_R=18,3$ min), 2- ácido caféico ($t_R=19,5$ min) e 3- ferúlico ($t_R=27,6$ min) com detecção espectrofotométrica a 330 nm.

O tempo médio de retenção para os ácidos clorogênico, caféico e ferúlico foi de 18,3; 19,5 e 27,6 minutos, respectivamente.

Foram realizados vários testes com diferentes métodos com o intuito de melhorar a separação dos picos cromatográficos do ácido clorogênico e ácido caféico. As metodologias utilizadas nos testes estão apresentadas na Tabela 2.

O primeiro método aplicado foi o de Simonovska et al. (2003) com modificações, já nos demais seguiram-se os procedimentos adotados por Takenaka et al. (2003), fazendo-se diferentes adaptações para cada um deles. Em todos os métodos testados o fluxo aplicado foi constante em $1,1 \text{ mL min}^{-1}$, com exceção do primeiro, onde o fluxo variou da seguinte forma: de 0 a 40 min o fluxo foi de $0,5 \text{ mL min}^{-1}$, quando este passou a ser de $1,0 \text{ mL min}^{-1}$, permanecendo nessa proporção até os 47 min, sendo a partir daí, alterado novamente para $0,5 \text{ mL min}^{-1}$ até o final da análise. E para todos os

procedimentos realizados utilizou-se coluna do tipo C18 (250 mm x 4,6 mm, 5 μ m), exceto para o último em que a coluna utilizada foi C18 (100 mm, 3 μ m). No entanto, em nenhum desses casos obtiveram-se respostas satisfatórias (Tabela 2). Portanto, estudos futuros são sugeridos com utilização de coluna própria para ácidos como fase estacionária.

TABELA 2 Metodologias aplicadas para definição dos picos cromatográficos dos ácidos fenólicos (clorogênico, caféico e ferúlico)

M É T O D O S	Solventes	Gradiente da FM*	Soluções padrão (mol. L ⁻¹)	Resultado
1	A- 10% acetonitrila + ácido acético 0,05% B- 90% acetonitrila + ácido acético 0,05%	0 min: 100%A 39 min: 100%B 42 min: 100%B 50 min: 100%A 52 min: 100%A 55 min: 100%A	1 x 10 ⁻⁴	Ausência do pico do ácido clorogênico
2	A- Metanol puro B- Ácido acético 2%	0 min: 100%B 15 min: 25%A e 75%B 40 min: 60%A e 40%B 45 min: 100%A 50 min: 10%A e 90%B 52 min: 100%B	1 x 10 ⁻⁴	Não houve separação adequada dos picos do ácido clorogênico e caféico
3	A- Metanol puro B- Ácido acético 2%	0 min: 30%A e 70%B 15 min: 33%A e 67%B 30 min: 55%A e 45%B 40 min: 100%A 50 min: 10%A e 90%B	1 x 10 ⁻⁵	Não houve separação dos picos do ácido clorogênico e caféico e os tempos de retenção dos ácidos foram menores
4	A- Metanol puro B- Ácido acético 2%	0 min: 10%A e 90%B 15 min: 33%A e 67%B 30 min: 55%A e 45%B 40 min: 100%A 50 min: 10%A e 90%B	1 x 10 ⁻⁵	Não houve separação adequada dos picos do ácido clorogênico e caféico
5	A- Metanol puro B- Ácido acético 2%	0 min: 10%A e 90%B 15 min: 33%A e 67%B 30 min: 55%A e 45%B 40 min: 100%A 50 min: 10%A e 90%B	1 x 10 ⁻⁴	Não houve separação adequada dos picos do ácido clorogênico e caféico

*FM= fase móvel: A- metanol puro grau HPLC; B- solução de ácido acético 2%.

3.2 Avaliação quantitativa dos ácidos fenólicos no yacon

Após a otimização dos parâmetros cromatográficos, foram iniciados os estudos quantitativos dos ácidos fenólicos presentes nas amostras de yacon. Foram construídas curvas analíticas para cada um dos compostos a serem quantificados, obtendo-se gráficos que exibiram uma relação linear da resposta do detector (área) versus massa injetada (Tabela 3).

As curvas analíticas das soluções dos ácidos fenólicos foram obtidas através de diluições de soluções de concentração de 1×10^{-5} mol L⁻¹ para o ácido clorogênico e 1×10^{-4} mol L⁻¹ para os ácidos caféico e ferúlico, obtendo soluções em um intervalo de concentração de 0,35 a 19,5 mg kg⁻¹ para o ácido clorogênico, de 0,45 a 9,0 mg kg⁻¹ para o ácido caféico e 0,19 a 9,7 mg kg⁻¹ para o ácido ferúlico. A detecção espectrofotométrica no sistema cromatográfico foi realizada com comprimento de onda de 330 nm e o volume de injeção foi de 20 µL em todas as medidas. As Figuras 5, 6 e 7 exibem as curvas analíticas dos ácidos clorogênico, caféico e ferúlico, respectivamente.

TABELA 3 Parâmetros e coeficientes de correlação (r^2) das curvas analíticas*

Ácido fenólico	Valores da equação de regressão		
	a	b	r^2
Ácido clorogênico	-3139,81	$5,94 \times 10^9$	0,9969
Ácido caféico	-13865,02	$5,41 \times 10^9$	0,9977
Ácido ferúlico	-519,59	$7,81 \times 10^9$	0,9978

* Regressão linear: $y = a + bx$

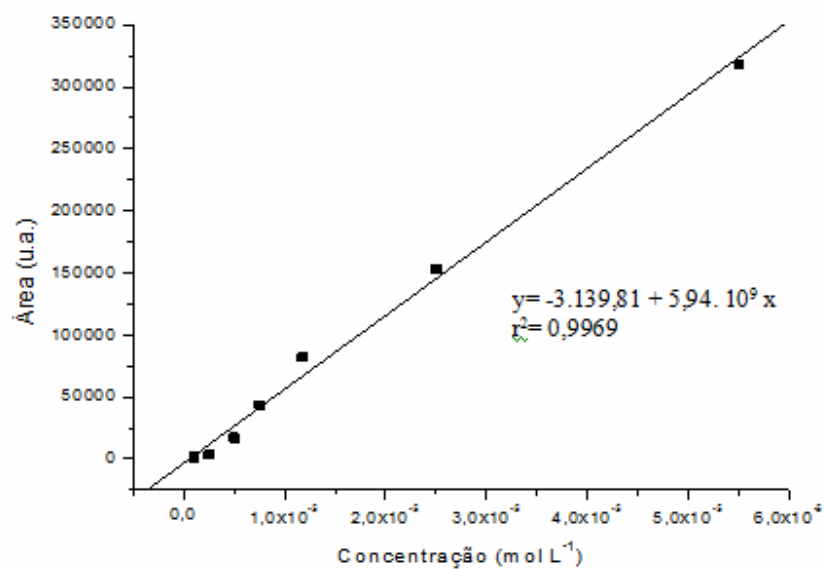


FIGURA 5 Curva analítica para quantificação do ácido clorogênico

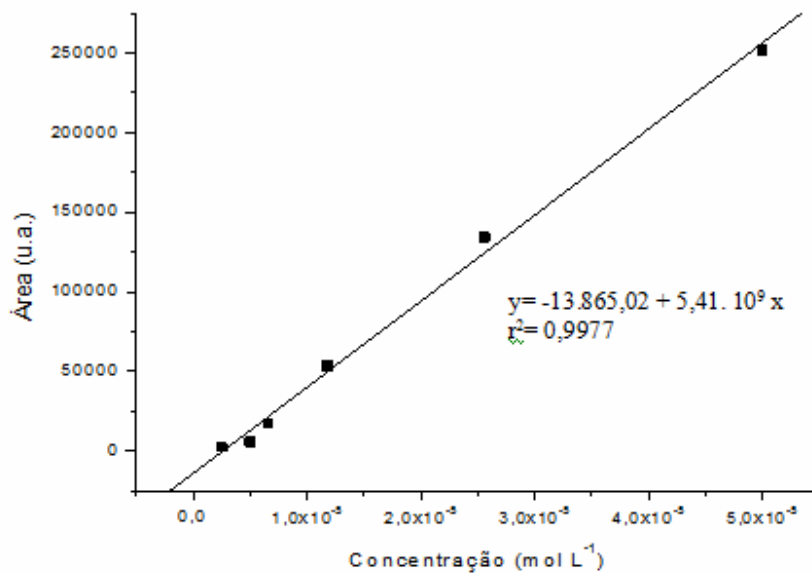


FIGURA 6 Curva analítica para quantificação do ácido caféico

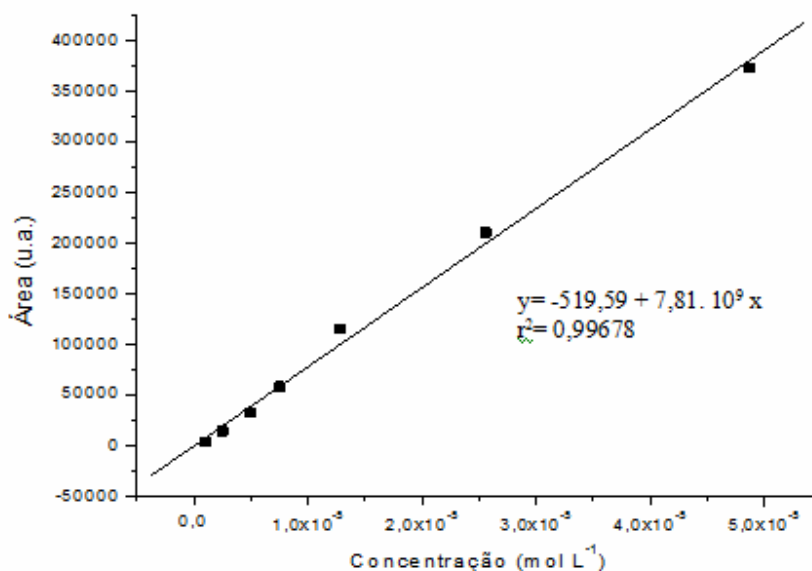


FIGURA 7 Curva analítica para quantificação do ácido ferúlico.

O estudo da concentração de ácidos fenólicos versus resposta do detector (área) apresentou-se linear em todo intervalo estudado ($1,0 \times 10^{-6}$ a $5,0 \times 10^{-5}$ mol L⁻¹), as curvas analíticas para cada ácido apresentaram um coeficiente de correlação linear de 0,998 e sensibilidade cromatográfica de $7,1 \times 10^9$ mol L⁻¹.

Foi calculado, ainda, o limite de detecção e quantificação de cada um dos analitos para o método utilizado (Tabela 4). A definição mais aceita de limite de detecção é a da concentração ou massa mínima de analito que pode ser detectada em um nível conhecido confiável. Este limite depende da razão entre a magnitude do sinal do analito e das flutuações estatísticas do sinal do branco. Quando o limite de detecção é atingido o sinal analítico e seu desvio-padrão aproximam-se do sinal do branco e de seu desvio-padrão. Para as curvas analíticas das Figuras 5, 6 e 7, o limite de detecção foi definido como a

concentração cuja resposta foi três vezes à relação sinal/ruído (Snyder, 1997; Shabir, 2003).

O limite de quantificação é a quantidade do soluto que pode ser quantificada com precisão e exatidão nas condições experimentais. É um valor superior ao limite de detecção e pode ser determinado como múltiplo do limite de detecção, mas, freqüentemente é expresso como um sinal de altura 10 vezes superior ao ruído do aparelho.

TABELA 4 Intervalo de linearidade e limites de detecção e quantificação em HPLC-UV para os ácidos fenólicos.

Ácidos fenólicos	Linearidade (mg. Kg ⁻¹)	Limite de detecção (mg. kg ⁻¹)	Limite de quantificação (mg kg ⁻¹)
Clorogênico	0,4 a 19,5	0,2	0,3
Caféico	0,4 a 9,0	0,2	0,5
Ferúlico	0,2 a 9,7	0,1	0,2

3.3 Análise dos resultados de quantificação de ácidos fenólicos em yacon

Os cromatogramas das amostras analisadas estão representados nas Figuras 8, 9,10 e 11.

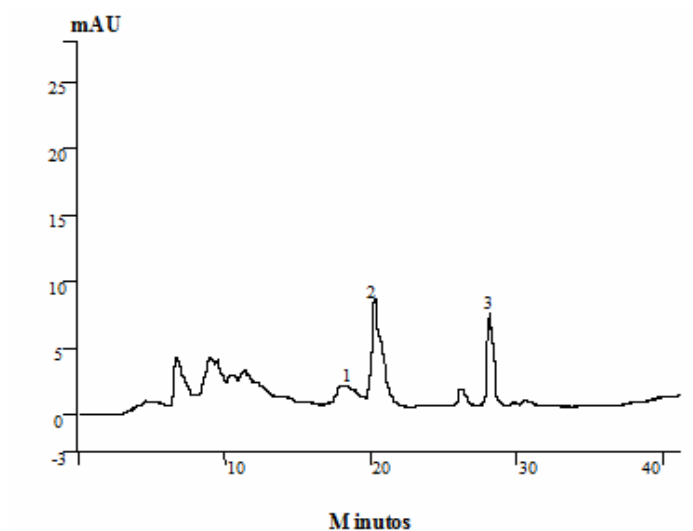


FIGURA 8 Cromatograma da amostra polpa de yacon *in natura* com detecção espectrofotométrica em 330 nm: 1- ácido clorogênico ($t_R=18,3$ min), 2- ácido caféico ($t_R=20,2$ min) e 3- ácido ferúlico ($t_R=26,1$ min).

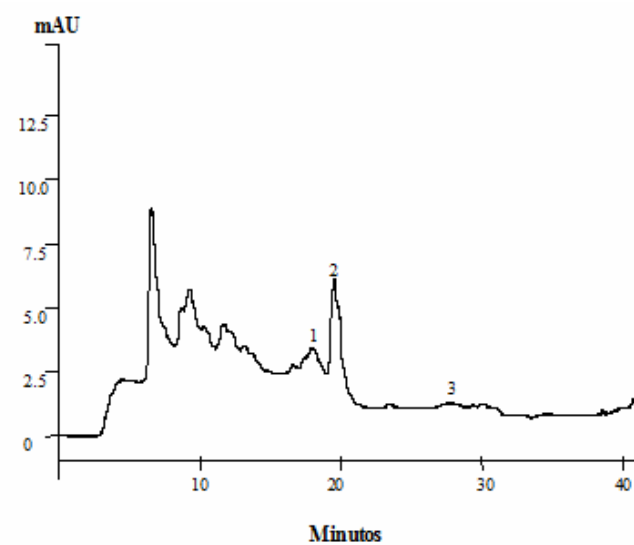


FIGURA 9 Cromatograma da amostra de farinha da polpa de yacon com detecção espectrofotométrica em 330 nm: 1- ácido clorogênico ($t_R=17,9$ min), 2- ácido caféico ($t_R=19,4$ min) e 3- ácido ferúlico ($t_R=27,5$ min).

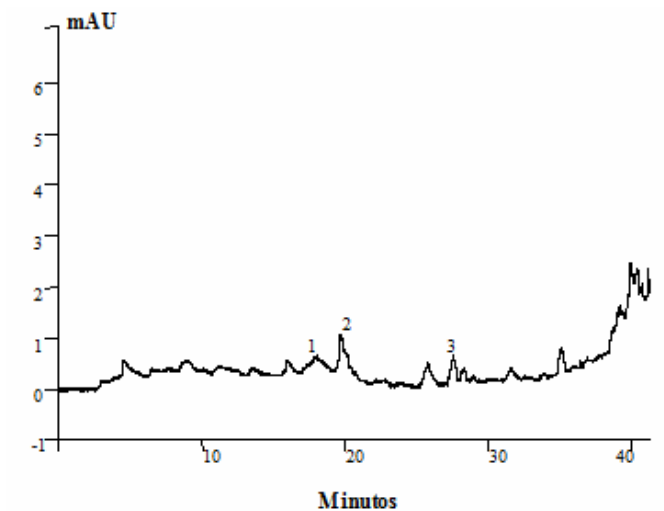


FIGURA 10 Cromatograma da amostra da casca de yacon *in natura* com detecção espectrofotométrica em 330 nm: 1- ácido clorogênico ($t_R=18,0$ min), 2- ácido caféico ($t_R=19,7$ min) e 3- ácido ferúlico ($t_R=27,5$ min).

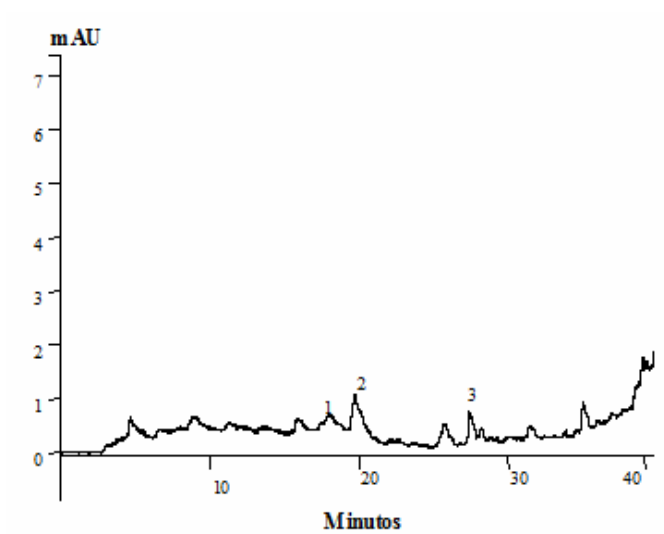


FIGURA 11 Cromatograma da amostra da farinha da casca de yacon com detecção espectrofotométrica em 330 nm: 1- ácido clorogênico ($t_R=18,0$ min), 2- ácido caféico ($t_R=19,6$ min) e 3- ácido ferúlico ($t_R=27,4$ min).

O tempo médio de retenção para os ácidos clorogênico, caféico e ferúlico nas amostras foi de 18,1; 19, e 27,1 minutos, respectivamente.

Vendramini & Trugo (2004) realizaram análise dos ácidos fenólicos de acerola, sendo que a fase móvel consistiu de um gradiente de eluição com 0,01 mol L⁻¹ de solução citrato tri-sódio e 20% de metanol ajustado para pH 2,5 com 6 mol L⁻¹ de HCl (solvente A) e metanol (solvente B). A coluna usada foi a Lichrospher-100 RP-18 coluna (250 x 4.6 mm, 5 µm) e a detecção foi feita a 325 nm. A análise qualitativa foi realizada por meio de comparação com soluções padrões e identificaram um dos maiores picos como ácido ferúlico (27,2 min) e os picos menores como ácido clorogênico (17,5 min) e caféico (20,2 min), tempos de retenção próximos aos observados nos cromatogramas obtidos no presente trabalho.

A concentração dos ácidos fenólicos nas amostras de yacon (polpa e casca *in natura*, farinha da polpa e farinha da casca) está apresentada na Tabela 4.

TABELA 4 Concentração dos ácidos clorogênico, caféico e ferúlico no yacon *in natura* e produtos derivados em mg. kg⁻¹ de matéria integral

Produto	Ácido clorogênico	Ácido caféico	Ácido ferúlico
		mg. kg ⁻¹	
PY	39,0 ± 1,3	27,0 ± 1,1	3,0 ± 0,4
FPY	294,0 ± 17,0	417,0 ± 26,3	30,0 ± 1,4
CY	9,0 ± 0,9	12,0 ± 1,2	2,0 ± 0,4
FCY	310,0 ± 21,1	56,0 ± 3,0	5,0 ± 0,8

Legenda: PY= polpa de yacon; FPY= farinha da polpa de yacon; CY= casca de yacon; FCY= farinha da casca de yacon.

* valores médios de três repetições

Entre os constituintes fenólicos predominantes, a farinha da polpa pode fornecer 294,0 mg de ácido clorogênico, 417,0 mg de ácido caféico e 30,0 mg de ácido ferúlico por kg de matéria integral.

Para a casca de yacon *in natura*, a concentração dos ácidos fenólicos foi de 9,0 mg de ácido clorogênico, 12,0 mg de ácido caféico e 2,0 mg de ácido ferúlico para cada kg de matéria integral das amostras.

Já na farinha da casca de yacon as quantidades dos ácidos clorogênico, caféico e ferúlico foram de 31,0 mg, 56,0 mg e 5,0 mg em 1 kg de matéria integral, respectivamente.

A farinha da polpa e polpa *in natura* de yacon apresentaram-se como as melhores fontes, respectivamente, dos ácidos fenólicos entre as amostras avaliadas. O processo de desidratação tanto da polpa quanto da casca de yacon intensificou a concentração dos ácidos fenólicos.

Takenaka et al. (2003) identificaram em raízes de yacon os ácidos clorogênico e outros derivados do ácido caféico.

Simonovska et al. (2003), avaliou as frações do extrato cru de raízes de yacon após extração em sílica gel que foram analisadas por HPLC/SM, sendo confirmada a presença dos compostos esperados (ácido clorogênico, ferúlico e caféico). Além disso, foi possível também identificar estes compostos diretamente nas soluções teste do extrato cru pela mesma técnica.

De acordo com o estudo de Yan et al. (1999), as raízes tuberosas de yacon contêm polifenóis com predominância de ácido clorogênico com conteúdo de 48,5 mg kg⁻¹ de amostra (peso fresco), resultado este superior ao encontrado no atual estudo com a polpa de yacon *in natura* (39,0 mg kg⁻¹).

Rocha et al. (2007) realizaram análises para determinação de ácidos fenólicos em raízes, folhas e flores de yacon por meio de HPLC, onde utilizaram como fase móvel solução aquosa de ácido acético 1% (A) e metanol e solução A na proporção de 40: 60(v/v) (B). Os ácidos fenólicos foram identificados principalmente nas flores, sendo as concentrações de ácido clorogênico de 14.938,4 mg kg⁻¹ e de ácido caféico de 4.228,7 mg kg⁻¹ em matéria seca, mas o

ácido ferúlico não foi encontrado. Os mesmos ácidos fenólicos foram encontrados nas folhas e raízes, mas em baixas concentrações.

De acordo com Onishi et al. (1994), o ácido clorogênico e seus derivados são antioxidantes típicos em plantas terrestres incluindo a batata, maçã e tomate.

O café é uma das principais fontes de ácido clorogênico na dieta humana e uma xícara da bebida (200 mL) pode conter cerca de 20-675 mg (Clifford, 1999). Já a batata inglesa pode fornecer de 500-1200 mg de ácido clorogênico em 1kg de matéria seca. A maçã é um dos frutos mais estudados, podendo conter de 62,0-385,0 mg kg⁻¹ de ácido clorogênico, enquanto o tomate contém em torno de 10-80 mg kg⁻¹ de matéria seca (Clifford, 1999). Considerando estes valores em matéria seca, o yacon, principalmente PY e FPY, possuem conteúdos superiores de ácido clorogênico aos alimentos acima citados.

Um grupo de frutos tropicais foi analisado quanto ao teor de ácido clorogênico na casca, polpa e semente. De modo geral, as sementes contêm um teor muito baixo de ácido clorogênico. A casca da jaca apresentou quantidade expressiva de ácido clorogênico (13.000 mg kg⁻¹ de matéria seca). Por outro lado, entre as polpas, a do marmeleiro foi a mais rica (1730 mg kg⁻¹ de matéria seca), enquanto a da graviola (474,0 mg kg⁻¹) mostrou valor mais baixo (Pontes et al., 2002). Estes valores também são superiores aos encontrados no presente trabalho tanto para a polpa (314,0 mg kg⁻¹) quanto para a farinha da polpa (320,0 mg kg⁻¹) de yacon em matéria seca.

No estudo de Schieber et al. (2001), investigaram por HPLC os teores de ácidos fenólicos em maçã e pêra. Para as análises foi utilizada fase móvel constituída de solução de ácido acético 2% (solução A) e solução de ácido acético 0,5% e acetonitrila (50:50 v/v) (solução B) e aplicado o gradiente: 10% B a 55% B (50 min). O monitoramento dos ácidos hidroxinâmicos foi realizado em comprimento de onda de 320nm. Entre os constituintes fenólicos

predominantes na polpa de maçã comercial encontrou-se o ácido clorogênico com teor de 450,0 mg kg⁻¹ e ácido caféico com concentração de 8,2 mg kg⁻¹ de matéria seca. Já na pêra, foi observada a quantidade de 15,0 a 21,0 mg kg⁻¹ de matéria seca para o ácido clorogênico em três diferentes cultivares da fruta.

Onyeneho & Hettiarachchy (1993), realizaram estudo com extratos da casca de seis variedades de batata (*Solanum tuberosus*) por cromatografia em camada fina onde foram identificados os ácidos clorogênico, caféico e protocatequínico. Além disso, avaliaram a atividade antioxidante destes extratos tendo o óleo de oliva como substrato, os quais demonstraram redução da oxidação por ação de oxigênio ativo, sendo esse efeito atribuído aos ácidos fenólicos presentes.

4 CONCLUSÕES

A FPY e PY apresentaram conteúdos numericamente superiores dos ácidos fenólicos em relação à FCY e CY, respectivamente, sendo a FPY, possivelmente, a melhor fonte dos ácidos fenólicos dentre as amostras estudadas. Além disso, o processo de secagem térmica para produção de farinhas de yacon intensificou a quantidade dos ácidos fenólicos nestas quando comparadas aos produtos de origem *in natura*, tanto para polpa quanto para a casca de yacon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 123-30, 1999.
- CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates - nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and the Agriculture**, v. 79, n. 362, p. 362-372, 1999.
- GUTIÉRREZ, J. R. V. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. **Revista Cubana Médica Militar**, v. 31, n. 2, p.126-133, 2002.
- HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. 3.ed. New York: Oxford, 1999.
- ONISHI, M.; MORISHITA, H.; IWAHASHI, H.; TODA, S.; SHIRATAKI, Y.; KIMURA, M.; KIDO, R. Inhibitory effects of chlorogenic acids in linoleic acid peroxidation and haemolysis. **Phytochemistry**, v. 36, p. 579-583, 1994.
- ONYENEHO, S. N.; HETTIARACHCHY, N. S. Antioxidant activity, fatty acids and phenolic acids compositions of potato peels. **Journal Science Food Agriculture**, London, v. 62, p. 345-350, 1993.
- PONTES, P. V.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE MARIA, C. A. B. The content of chlorogenic acids in tropical fruits. **Journal of Science of Food and the Agriculture**, v. 82, n. 10, p. 1177 – 1181, 2002.
- ROCHA, T.O.; CAMPOS, N.A.; PINELI, L.L.O.; KARNIKOWSKI, M.G.O.; ROMEIRO, L.A.S.; CHIARELLO, M.D. Determination of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers, leaves and flowers by HPLC. IN: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS, 7., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Latino Americana de Ciência de Alimentos, 2007.
- SCHIEBER, A. ; KELLER, P.; CARLE, REINHOLD. Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 910, n. 2, p. 265-273, mar. 2001.

SHABIR, G. A. Validation of high-performance liquid chromatography methods for pharmaceutical analysis. Understanding the differences and similarities between validation requirements of the US and Drug Administration, the US Pharmacopeia and the International Conference on Harmonization. **Journal of Chromatography A**, v. 987, n. 1/2, p. 57-66, 2003.

SIMONOVSKA, B.; VOVK, I.; ANDRENŠEK, S.; VALENTOVÁ, K., ULRICHOVÁ, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal Chromatography A.**, v. 1016, p. 89-98, 2003.

SNYDER, L. R.; KIRKLAND, J.; GLAJACH, J. L. **Practical HPLC method development**. 2nded. New York: J. Wiley, 1997. p. 694-697.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 51, p. 793-796, 2003.

VENDRAMINI, A. L. A.; TRUGO, L. C. Phenolic Compounds in Acerola Fruit (*Malpighia puniceifolia*, L.). **Brazilian Journal of Chemistry Society**, v. 15, n. 5, p. 664-668, 2004.

YAN, X. J.; SUZUKI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, p. 4711-4713, 1999.

CAPÍTULO IV

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE YACON SOBRE NÍVEIS GLICÊMICOS E LIPÍDEOS FECAIS DE RATOS

RESUMO

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Estudo da influência do consumo de yacon sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos. In: _____. **Estudos químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos.** 2008. Cap.4, p.133-166. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Na busca por alimentos que contenham substâncias com ações funcionais no organismo e apresentem fácil acessibilidade econômica para a população, objetivou-se estudar a inserção de farinha da polpa de yacon (FPY) na dieta para avaliar a influência sobre níveis glicêmicos e conteúdo de lipídeos fecais de ratos. Para esses estudos foram utilizados 24 ratos machos da linhagem Wistar, albinos, pesando inicialmente entre 210 e 250g (6 animais/grupo). Os animais permaneceram individualmente em gaiolas metabólicas recebendo dietas da AIN-93M e água *ad libitum* com adição de farinha da polpa de yacon em detrimento ao amido. Os tratamentos foram divididos de acordo com a concentração da farinha, sendo as dietas administradas durante 17 dias para os diferentes grupos: G1 (grupo controle) - dieta padrão; G2 - adição de 5% de FPY; G3 - adição de 10% de FPY e G4 - adição de 15% de FPY. Durante o tratamento dos animais foram avaliados o consumo de ração e desenvolvimento ponderal para os cálculos de consumo médio diário (CMD), ganho de peso médio diário (GMD) e coeficiente de eficácia alimentar (CEA). Após o período de tratamento com as distintas dietas, os animais foram submetidos à análise da glicemia de jejum de 12 horas com a colheita de sangue da calda e utilizando-se fitas e glicosímetro Accu-Chek[®]. Em seguida, permaneceram por mais 3 horas de jejum e ao totalizar 15 horas de jejum, os mesmos receberam individualmente 2g das respectivas dietas durante 20 minutos. Em seguida, foi realizada análise da glicemia para elaboração da curva glicêmica e posterior cálculo do índice glicêmico (IG) de acordo com FAO/WHO (1998). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado e para as análises estatísticas, utilizou-se o teste de regressão e as diferenças com valores de $p < 0,05$ consideradas significativas. Para a análise de glicemia de jejum também foi utilizado um esquema fatorial, sendo 4 tratamentos x 2 tempos. O consumo de FPY não levou a alterações no CMD, GMD e CEA nos diferentes grupos. Na glicemia de jejum não foram observadas diferenças significativas. As dietas contendo as diferentes

¹ Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientadora), Adeliir A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira - UNIFAL, Michel Cardoso De Angelis Pereira - EAFB.

concentrações de FPY (5%, 10% e 15%) apresentaram diferenças significativas quanto à redução do IG quando comparados ao grupo controle, além de causar arraste de lipídeos para as fezes dos animais, sendo este último proporcional às quantidades de FPY acrescidas às dietas. Baseando-se nos resultados, pode-se dizer que o consumo da farinha da polpa de yacon diminuiu o IG da dieta dos animais e promoveu arraste de lipídeos para as fezes.

ABSTRACT

RIBEIRO, Juciane de Abreu Ribeiro. Study of the influence of the consumption of yacon on glucemic levels and fecal lipids of rats. In: _____. **Chemical and biochemical studies of *in natura* and processed yacon (*Smallanthus sonchifolia*) and influence of its consumption on glucemic levels and fecal lipids of rats.** 2008. Cap.4, p.133-166. Dissertation (Master in Food Science)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

In the search for foods which contain substances with functional actions in the organisms and present easy economic accessibility for the population, its was intended to study the addition of yacon pulp flour (FPY) in the diet to evaluate the influence on glucemic levels and content of fecal lipids of rats. For those studies were utilized 24 albino male rats of the Wistar line, weighing initially between 210 and 250g (6 animals/group). The animals remained individually in metabolism cages receiving AIN-93M diets and water *ad libitum* with addition of yacon pulp flour in detriment to starch. The treatments were divided according to the concentration of flour, the diets being fed for 17 days for the different groups: G1 (control group) – standard diet; G2 – addition of 5% of FPY; G3 – addition of 10% of FPY and G4 – addition of 15% of FPY. During the treatment of the animals, food consumption and ponderal development were evaluated for the calculations of daily average consumption (CMD), daily average weight gain (GMD) and food efficacy coefficient (CEA). After the period of treatment with the distinct diets, the animals were submitted to glucemia analysis of 12-hour fasting with the collection of tail blood and utilizing both fitas and e Accu-Chek[®] glicosimeter. Next, they remained for further 3 hours' fasting and in amounting to 15 hours of fasting, they were given individually 2g of the respective diets for 20 minutes. Afterwards, glucemia analysis was performed for making of the glucemic curve and later calculation of the glucemic rate (IG) according to FAO/WHO (1998). The utilized design was the completely randomized and for the statistical analyses, the regression test and the differences with values of $p < 0.05$ regarded as significant were accomplished. For fasting glucemia analysis, a factorial scheme was also utilized, that is, 4 treatments x 2 times. The consumption of FPY did not lead to alterations in CMD, GMD and CEA in the different groups. In fasting glucemia, no significant differences were not observed. The diets containing the different concentrations of FPY (5%, 10% and 15%) presented significant differences as

¹ Guidance Committee: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Adviser), Adelar A. Saczk – UFLA, Eric Batista Ferreira - UNIFAL, Michel Cardoso De Angelis Pereira - EAFB.

to reduction of IG as compared with the control group, in addition to causing arraste lipids to the animals' feces, this latter being proportional to the amounts of FPY added to the diets. Basing upon the results, one can say that the consumption of yacon pulp flour decreased the IG of the animals' diet and promoted arraste of lipids to the feces.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da expectativa de vida traz consigo a elevação de custos na área da saúde. Nesse contexto, a nutrição e a ciência dos alimentos precisam se associar na busca por substâncias e alimentos que auxiliem na manutenção da saúde, bem como na prevenção e tratamento de patologias, principalmente as crônicas não-transmissíveis, dentre as quais pode-se citar diabetes mellitus, obesidade, doenças cardiovasculares, entre outras.

Os alimentos conceituados como alimentos funcionais, além de nutrir atuam na prevenção de doenças, contribuindo efetivamente na saúde.

A farinha da polpa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é caracterizada como alimento funcional, pois se destaca por ser rica em frutanos e ácidos fenólicos, sendo que os primeiros possuem efeito cientificamente reconhecido de prebiótico e o segundo, efeito antioxidante.

A presença de frutanos que são considerados fibras solúveis influencia diretamente o índice glicêmico da dieta e, conseqüentemente, os níveis glicêmicos dos indivíduos. Alguns estudos têm sido realizados com fontes de frutanos (Mabel et al., 2008) ou mesmo com o yacon (Genta et al., 2005) com o intuito de avaliar os efeitos do consumo destes sobre os níveis glicêmicos de animais.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivos avaliar algumas conseqüências do consumo da farinha da polpa de yacon sobre parâmetros biológicos e metabólicos tais como consumo alimentar, ganho ponderal, arraste fecal de lipídeos, níveis glicêmicos, bem como o índice glicêmico das dietas experimentais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido pelo Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

O ensaio *in vivo* e as análises bioquímicas foram conduzidos no laboratório de Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências da Saúde (FACISA) da Universidade Presidente Antônio Carlos- UNIPAC, Barbacena-MG. O trabalho recebeu aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP-CONEP) da UNIPAC.

2.1 Aquisição do yacon e produção da farinha da polpa de yacon

As raízes de yacon foram adquiridas no comércio da cidade de Barbacena- MG.

Depois de selecionadas e lavadas, as raízes foram descascadas e a polpa foi cortada em lâminas longitudinais com cerca de 1 cm de espessura e, em seguida, estas foram cortadas no sentido transversal, também com 1 cm de largura. Na etapa seguinte, a polpa foi imersa em solução contendo hipoclorito de sódio a 20 mg L⁻¹ e bissulfito de sódio a 0,1% durante 15 minutos. Após esse procedimento, com auxílio de um escurridor de água, a solução foi eliminada. A polpa foi então submetida à estufa a 55°C por 96 horas para secagem. Posteriormente, a polpa de yacon seca foi triturada em aparelho multiprocessador até obtenção de produto com característica de farinha e, em seguida, peneirada, resultando na farinha da polpa de yacon.

2.2 Ensaio *in vivo*

Para o ensaio foram utilizados 24 ratos Wistar albinos, machos, adultos, pesando inicialmente entre 210-250g. Os animais foram provenientes do biotério central da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG.

Os animais foram pesados e aleatorizados em quatro grupos de seis ratos.

As etapas envolvidas no ensaio *in vivo* estão apresentadas na Figura 1.

Durante o experimento, os animais foram mantidos individualmente em gaiolas metálicas no laboratório de Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC), com temperatura ambiente controlada $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e ciclo claro: escuro de 12 horas.

O estudo foi conduzido num período de 17 dias. Antes do tratamento experimental, todos os grupos permaneceram por um período de 7 dias alimentando-se com dieta padrão elaborada segundo Reeves et al. (1993) do *American Institute of Nutrition* (AIN) para fase de manutenção (AIN 93-M). Seguiu-se este procedimento para adaptação do animal e estabelecimento de nutrientes padrões no organismo. As dietas e a pesagem dos animais foram ministradas em horário único a cada três dias.

Para a fase de tratamento, os animais receberam água *ad libitum* e diferentes dietas segundo o padrão AIN para fase de manutenção. O grupo controle permaneceu com a dieta padrão durante todo o período de tratamento. Já para os grupos teste foram acrescentados 5%, 10% e 15% de farinha da polpa de yacon (FPY) elaborada como citado no item 2.1, em detrimento do amido.

O total de dieta necessário para a condução do experimento foi calculado e preparado previamente ao ensaio, sendo conservado em embalagens de polietileno, sob congelamento (-15°C) até o dia anterior ao consumo, quando

foi transferido para refrigeração (5°C), e seis horas antes do fornecimento foi transferido para a temperatura ambiente.

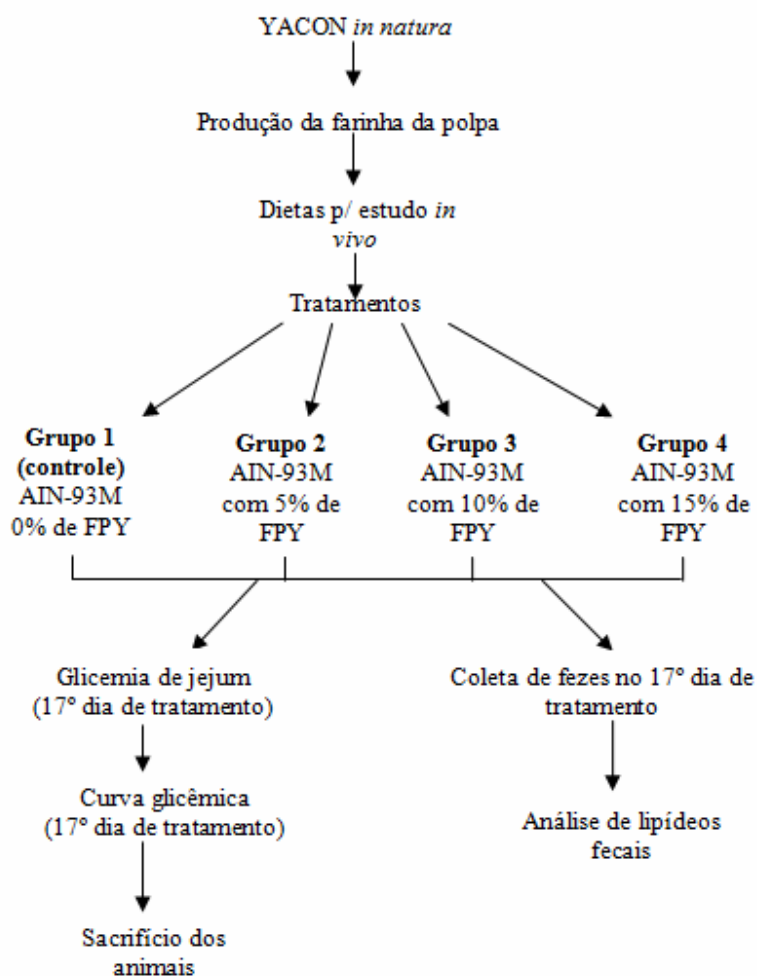


FIGURA 1 Etapas desenvolvidas no ensaio *in vivo*.

As dietas utilizadas no ensaio conforme padrão AIN-93M com algumas modificações encontra-se na Tabela 1.

TABELA 1 Composição das dietas dos grupos de animais experimentais (g/kg)

Ingredientes	Dieta com	Dieta com	Dieta com	Dieta com
	0% FPY	5% FPY	10% FPY	15% FPY
	g/kg			
Amido de milho	465,692	415,692	365,692	315,692
Caseína	140,000	140,000	140,000	140,000
Dextrina	155,000	155,000	155,000	155,000
Sacarose	100,000	100,000	100,000	100,000
Óleo de soja	40,000	40,000	40,000	40,000
Celulose	50,000	50,000	50,000	50,000
Pré-mix mine	35,000	35,000	35,000	35,000
Pré-mix vita	10,000	10,000	10,000	10,000
L-Cistina	1,800	1,800	1,800	1,800
Bitartarato de colina	2,500	2,500	2,500	2,500
Terbutilhidroquinona	0,008	0,008	0,008	0,008
FPY*	-----	50,000	100,000	150,000

* FPY= Farinha da polpa de yacon

2.2.1 Controle de ingestão alimentar e desenvolvimento ponderal

O desenvolvimento ponderal dos animais e o consumo de ração foram acompanhados a cada três dias para elaboração da curva de crescimento.

O controle de consumo de ração e ganho ponderal durante os 17 dias de experimento permitiu o cálculo do consumo médio diário (CMD), ganho médio diário (GMD) e coeficiente de eficácia alimentar (CEA), sendo que este último permite mostrar a relação entre ganho de peso e consumo da dieta, conforme Pellett & Young (1980).

Todos os índices foram calculados individualmente entre os animais, permitindo o cálculo do valor da média e do desvio padrão para cada grupo.

2.2.2 Determinação da glicemia

a) Glicemia de jejum e pós-prandial

Ao início do experimento, os animais foram aleatorizados, distribuídos em gaiolas metabólicas e foram realizadas análises da glicemia capilar de jejum por 12 horas, via punção sanguínea na veia caudal dos animais, utilizando aparelhos (glicosímetro) e fitas glicêmicas Accu-Chek[®]. Os valores foram registrados e os animais que apresentaram disglucemia foram substituídos por outros que apresentaram glicemia dentro dos parâmetros de normalidade. No 16º dia de tratamento, os animais iniciaram um período de jejum que foi mantido por 12 horas para avaliação da glicemia de jejum no 17º dia de tratamento. Após essa etapa, permaneceram em jejum por mais 3 horas até que fosse completado o tempo de 15 horas de jejum. Então, os animais tiveram livre acesso às dietas já previamente pesadas (2g) em quantidade pré-estabelecida. Após o consumo das distintas dietas durante 20 minutos, os animais foram então retirados das gaiolas individuais e encaminhados para a avaliação da glicemia pós-prandial em diferentes intervalos de tempo, a cada 15 minutos, até completar 120 minutos para posterior construção da curva glicêmica, seguindo metodologia utilizada por Pereira (2007) com modificações.

b) Índice glicêmico

A curva glicêmica foi elaborada após obtenção dos resultados de glicemia pós-prandial por punção sanguínea da calda dos animais, utilizando aparelhos e fitas glicêmicas Accu-Chek[®]. Na primeira análise após o consumo das distintas dietas, foi considerado o tempo 0, seguindo-se a cada 15 minutos até completar 2 horas, totalizando 9 análises por animal, de acordo com a metodologia proposta por Cozzolino (2006) para indivíduos sadios.

Após a elaboração da curva glicêmica foi possível calcular o índice glicêmico das dietas utilizadas à partir do aumento na área sob a curva glicêmica, seguindo-se a metodologia proposta pela FAO/WHO (1998) citado por Flint et al. (2004), sendo o índice glicêmico determinado aritmeticamente pelas seguintes equações:

$$1. \text{IG} = \frac{\text{Aumento na área da curva glicêmica (alimento teste)}}{\text{Aumento na área da curva glicêmica (alimento de referência)}} \times 100$$

$$2. \text{Índice Glicêmico} = \text{IG}_A \times \text{g}_A/\text{g}$$

onde, IG_A corresponde ao índice glicêmico do componente A;

g_A corresponde à quantidade de carboidrato disponível, em gramas, no componente A e;

g corresponde à quantidade total de carboidrato disponível, em gramas, na dieta.

Vale ressaltar que como a dieta padrão utilizada foi a dieta adaptada para animais de laboratório de acordo com a AIN 93M, considerou-se esta como a referência que corresponde ao valor 100.

2.2.3 Análise de lipídeos fecais

As fezes dos diferentes grupos foram coletadas separadamente no dia 17º dia de tratamento (final) para análise de conteúdo lipídico, utilizando o método de "Soxhlet" (gravimétrico), que se baseia na perda de peso do material submetido à extração com éter, ou na quantidade de material solubilizado pelo solvente, conforme AOAC (1990).

2.2.4 Sacrifício dos animais

Ao final do experimento, os animais foram sacrificados por asfixia com éter etílico e descartados de acordo com os princípios éticos da experimentação animal (BRASIL, 1979).

2.2.5 Análise Estatística

Para todas as variáveis foi aplicado Delineamento Inteiramente Casualizado, sendo quatro tratamentos com seis repetições. Para a glicemia de jejum foi aplicado um esquema de análise fatorial 4 x 2, sendo 4 tratamentos e 2 tempos (início e final do experimento). Os resultados foram expressos com a média \pm desvio-padrão de acordo com o teste de regressão, utilizando-se o software Sisvar[®] (Ferreira, 2000), com valores de $p < 0,05$ considerados diferenças significativas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Consumo alimentar, ganho de peso e coeficiente de eficácia alimentar

O consumo médio diário de dietas (CMD), ganho médio diário de peso (GMD) e coeficiente de eficácia alimentar (CEA) dos animais experimentais do grupo controle e daqueles tratados com diferentes concentrações de farinha da polpa de yacon são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 Valores do consumo médio diário das dietas (CMD), ganho médio de peso (GMD) e coeficiente de eficiência alimentar (CEA) dos animais durante os 17 dias de experimento.

Grupos	CMD* (g)	GMD** (g)	CEA***
Grupo 1 (controle)	25,44±1,39	4,51±1,74	0,18±0,07
Grupo 2 (5% FPY)	25,47±0,98	4,35±1,61	0,17±0,06
Grupo 3 (10% FPY)	25,66±0,99	3,48±0,39	0,13±0,02
Grupo 4 (15% FPY)	25,90±0,59	3,82±0,32	0,15±0,01

*CMD = consumo médio diário; **GMD = Ganho médio diário; ***CEA = Coeficiente de eficiência alimentar.

Não houve diferenças estatisticamente significativas para os índices CMD, GMD e CEA entre os diferentes grupos experimentais. O fato de o CMD não ter tido variações significativas entre os grupos sugere que a adição de farinha da polpa de yacon não alterou negativamente as características sensoriais da dieta. É importante salientar também que os animais utilizados encontravam-se na fase adulta, sendo que nesse período a reposição de nutrientes é menor quando comparada à fase de crescimento. Além disso, o tempo de ensaio de 17 dias é relativamente curto para que se possam observar alterações consideráveis de peso. No entanto, quanto ao GMD, embora as diferenças entre os grupos não tenham sido significativas, sugere-se que existe uma tendência a decrescer com o aumento no incremento de FPY nas dietas.

Genta et al. (2005), ao suplementarem dietas de ratos durante 4 meses com quantidades de yacon que correspondiam a baixo conteúdo de FOS (340 mg FOS/kg de peso corporal/ dia) e alto conteúdo de FOS (6800 mg FOS/kg de peso corporal/ dia), observaram que estas não proporcionaram diferença significativa quanto à ingestão alimentar, bem como ao ganho de peso entre os respectivos grupos de animais tratados com yacon e animais do grupo controle.

No trabalho conduzido por Kiss et al. (2006), utilizando como tratamento extrato de *Allium sativum* (alho) em diferentes concentrações para animais diabéticos induzidos, observaram para estes o mesmo grau de sintomas fisicometa bólicos que os animais diabéticos do grupo controle em relação ao consumo de ração e ganho de peso corpóreo.

Em um estudo que avaliou os efeitos do consumo de polpa refinada de maçã como fonte de fibra alimentar, tendo um grupo controle tratado com farelo de trigo, fonte convencional de fibra alimentar para a alimentação humana, os parâmetros nutricionais, como a ingestão de alimento, o ganho de peso corpóreo e o quociente de eficiência alimentar não diferenciaram entre si após os 28 dias de tratamento (Raupp et al., 2004).

Mabel et al. (2008), avaliaram a conveniência da utilização de FOS como adoçantes em um estudo com ratos diabéticos e foi constatado que houve declínio constante no peso corporal do grupo controle diabético (dieta sem FOS), causando alta mortalidade nesse grupo (80%). Já nos grupos tratados com FOS, a perda de peso foi menor, sobretudo no grupo tratado com 10% de FOS (nível máximo) e, conseqüentemente, a mortalidade também foi reduzida, confirmando o efeito benéfico do consumo desse tipo de frutanos na dieta que melhora as condições do diabetes mellitus.

3.2 Glicemia de jejum

Na Figura 2 estão demonstrados os valores médios e desvio padrão da glicemia capilar de jejum dos animais alimentados com as dietas adicionadas de farinha da polpa de yacon, sendo o G1 (controle- 0% FPY), G2 (5% FPY), G3 (10% FPY) e G4 (15% FPY).

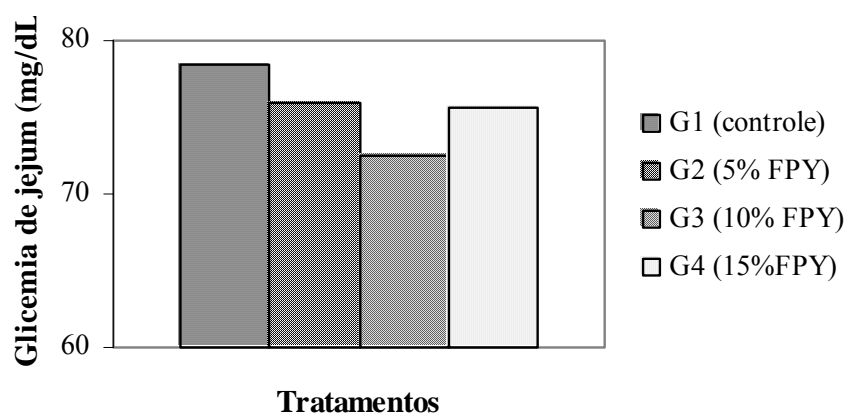


FIGURA 2 Valores médios (mg/dL) da glicemia de jejum dos animais do grupo controle e daqueles que consumiram dietas com adição de farinha da polpa de yacon em diferentes proporções.

Os resultados da glicemia de jejum dos animais ao fim do experimento não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Entretanto pôde-se observar diferença estatística ($p < 0,05$) comparando-se as glicemias de jejum mensuradas no início e no final do experimento como mostra a Tabela 3.

TABELA 3 Valores médios da glicemia de jejum (mg/dL) dos diferentes tratamentos nos tempos inicial e final do experimento.

Tratamentos	Médias
Glicemia de jejum inicial	86,08 ^b
Glicemia de jejum final	75,67 ^a

As médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5%.

A adição de FPY em qualquer das concentrações (0%, 5%, 10% e 15%) nas dietas não elevou a glicemia de jejum entre os grupos. Já em relação à diminuição na glicemia de jejum final em relação à inicial para os diferentes grupos experimentais, sugere-se que a dieta padrão da AIN93-M possa ter influenciado nesse efeito, uma vez que, previamente ao estudo, os animais foram alimentados com ração comercial.

O resultado que mostra não ter havido diferenças significativas sobre o parâmetro glicemia de jejum ao final do experimento entre os diferentes grupos, pode ser justificado devido ao fato de os alimentos influenciarem de forma mais direta no IG do que no metabolismo da glicose de jejum (Pereira, 2007).

Em indivíduos normoglicêmicos o metabolismo glicêmico é controlado fisiologicamente. A regulação da glicemia depende basicamente da ação de dois hormônios produzidos nas ilhotas de Langerhans no pâncreas, a insulina e o glucagon, que promovem o ajuste minuto a minuto da homeostasia da glicose (Geloneze et al., 2006). O estado de jejum normal é caracterizado por níveis mais elevados de glucagon e baixos de insulina, em conjunto com níveis fisiológicos de hormônios gastrointestinais como o polipeptídeo inibitório gástrico (GIP) e o peptídeo semelhante ao glucagon (GLP-1). O resultado desse equilíbrio é uma produção aumentada de glicose e aumento na proteólise muscular e na lipólise adipocitária. Essas mudanças sincronizadas mantêm a glicemia em humanos entre 70 a 100 mg/dL, os ácidos graxos livres (produto da

lipólise) entre 300 e 400 mol/L e os triacilgliceróis abaixo de 125 mg/dL (Geloneze et al., 2006).

No estudo de Pereira (2007), avaliando a influência do consumo de farinha da polpa e farinha da casca de banana sobre a glicemia de jejum constatou que estas farinhas, nas concentrações administradas, não elevaram a glicemia de jejum e nem a pós-prandial, justificando ser seguro o consumo destes produtos alimentares por não alterar o metabolismo glicêmico dos animais. Esses mesmos resultados foram obtidos em relação ao consumo de FPY para quaisquer das quantidades adicionadas à dieta.

O estudo de Mabel et al. (2008) que avaliou a conveniência de FOS como adoçantes revelou que o tratamento com FOS não influenciou adversamente na glicemia de jejum em animais diabéticos, apesar da presença de glicose no sangue, a qual foi associada ao tratamento com FOS, como julgado pela glicemia de jejum avaliada em intervalos quinzenais. Esta observação também foi confirmada pelo padrão de excreção de glicose urinário em todo o período experimental, sugerindo os FOS como ingredientes alternativos para alimentação de pacientes diabéticos.

3.3 Glicemia pós- prandial e índice glicêmico das dietas

A Figura 3 apresenta a Glicemia pós-prandial de ratos alimentados com dietas experimentais.

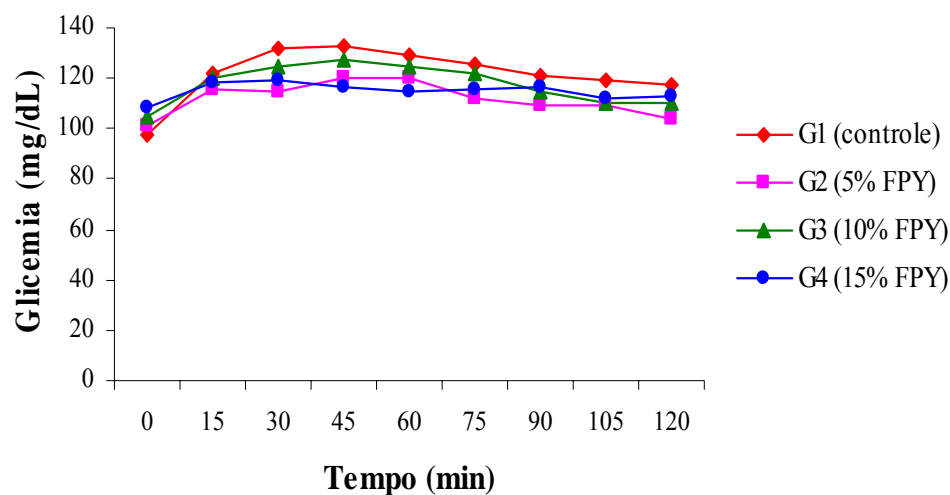


FIGURA 3 Glicemia pós-prandial de ratos alimentados com dietas experimentais: dieta padrão (controle), dieta com 5% de FPY, dieta com 10% de FPY e dieta com 15% de FPY administradas para ratos.

A avaliação da glicemia pós-prandial dos animais que receberam diferentes tratamentos durante o período de 17 dias mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos experimentais, sendo estas obtidas ao se comparar os grupos tratados com dietas adicionadas de FPY em relação ao grupo controle. Podem-se perceber declínios da glicemia em diferentes picos pós-prandiais, confirmando a influência das fibras alimentares na absorção da glicose, sobretudo das fibras solúveis.

A FPY é rica em fibras solúveis e insolúveis, as quais podem influenciar positivamente na redução da glicemia, principalmente, a glicemia pós-prandial pelas interferências causadas no processo de digestão (Dirlewanger et al., 2000; Derivi et al., 2002 e Cozzolino, 2006).

O grupo controle (0% de FPY) teve um aumento brusco da glicemia até 30 minutos após a ingestão da dieta e por volta de 45 minutos após a alimentação a concentração de glicose sanguínea começou a declinar. Os demais grupos tiveram um aumento da glicemia menos acentuado do que o grupo controle até os 30 minutos após o fornecimento das respectivas dietas e, depois desse período, mantiveram relativa estabilidade até 60 minutos, a partir de onde passaram a reduzir os níveis de glicose no sangue.

Após a alimentação há um aumento fisiológico normal da glicemia, com incremento de até 50 mg/dL, não ultrapassando 140 mg/dL em humanos. Esse aumento é dependente da quantidade e da qualidade do carboidrato ingerido e da produção endógena de glicose (Geloneze et al., 2006).

A glicemia pós-prandial depende de uma interrelação entre a secreção de insulina e glucagon, a quantidade e o tipo de carboidratos ingeridos. O nível da glicemia começa a aumentar dez minutos após a ingestão de alimentos, atinge os seus valores máximos aos 60 minutos após ingestão alimentar e habitualmente ocorre aproximação aos níveis basais em duas a três horas (Gross et al., 2003).

Pereira (2007) observou discreta redução na glicemia pós-prandial de ratos alimentados com farinha da polpa de banana rica em fibra solúvel, o que não ocorreu com a farinha da casca de banana, a qual possui grandes concentrações de fibra insolúvel. Esses resultados confirmam o efeito hipoglicêmico das fibras solúveis presentes nos alimentos.

Genta et al. (2005) realizaram um estudo comparativo das respostas glicêmicas de ratos, sendo que o grupo controle recebeu glicose e os outros dois receberam yacon seco com diferentes proporções de FOS. Os níveis de glicose

sanguínea de ratos normais mostraram um desprezível aumento 1h após a administração oral de tabletes de yacon contendo 340 mg/kg de peso corporal de FOS, e então a glicemia passou a reduzir até retornar ao nível inicial. E uma resposta similar foi obtida quando se administrou maiores doses de FOS. Em contraste, quando os ratos receberam glicose como substância padrão, os níveis de glicose sanguínea alcançaram um pico 20 minutos após a administração oral de glicose e gradualmente reduziram para o nível pré-glicose. Pode-se observar que o estudo de Genta et al. (2005) se diferenciou do presente trabalho quanto à metodologia, uma vez que no primeiro caso, a dieta controle consistiu somente de glicose, e no segundo, a dieta controle foi constituída da dieta padrão da AIN-93M. Já os grupos teste de Genta et al. (2005) e os grupos teste deste presente estudo receberam, respectivamente, yacon seco com diferentes proporções de FOS e dieta padrão AIN-93M com adição de diferentes concentrações de FPY em detrimento do amido. No trabalho de Genta et al. (2005), comparou-se o efeito da ingestão de yacon seco com a administração de glicose que reconhecidamente é um ingrediente hiperglicemiante, pois aumenta rapidamente a glicemia pós-prandial, diferentemente da dieta padrão AIN-93 M que tende a manter níveis moderados de glicemia no período pós-prandial.

No estudo de Viega et al. (2007), avaliaram o efeito do consumo de leite com farinha de yacon a 10% sobre a resposta glicêmica de indivíduos sadios e constataram que o tratamento com leite e farinha de yacon não reduziu a resposta glicêmica pós-prandial em humanos sadios. Embora a curva glicêmica dos grupos não tenha diferido estatisticamente, houve um pico de glicemia aos 30 minutos no grupo controle (leite) e a ausência de pico no grupo teste (leite com 10% de farinha de yacon).

Nomikos (2007), ao avaliar a influência do consumo de alcachofra, alimento com considerável concentração de frutanos, sobre a glicemia e resposta insulinêmica em indivíduos normais, não observaram diferenças significativas

na glicose sanguínea de jejum e nos valores de insulina com os tratamentos realizados. Como era esperado, a concentração máxima de glicose foi alcançada em 0,5 a 1 hora após a ingestão da refeição controle e o mesmo foi observado para a insulina. Por outro lado, a adição de alcachofra cozida na refeição controle reduziu o aumento da glicose, especialmente em 0,5 h após a refeição. Uma redução no aumento da insulina pós-prandial foi também observada após a refeição com alcachofra, comparada com o aumento da insulina pós-prandial da refeição controle (grupo controle) que atingiu diferenças significativas em 0,5 hora após a refeição.

O efeito da fibra dietética solúvel tem sido demonstrado, em diferentes ensaios clínicos, através da redução dos picos das curvas de glicemia apresentados pelo consumo de alimentos ricos em carboidratos, em diabéticos não insulino dependentes. Ela também atua com um moderado efeito na redução da lipídemia, produz efeito benéfico na tolerância à glicose e modifica a secreção de insulina e glucagon (Lajolo et al., 2001).

O índice glicêmico dos animais experimentais em resposta ao consumo das dietas com diferentes concentrações de farinha da polpa de yacon (FPY) e dietas padrão estão representadas na Figura 4.

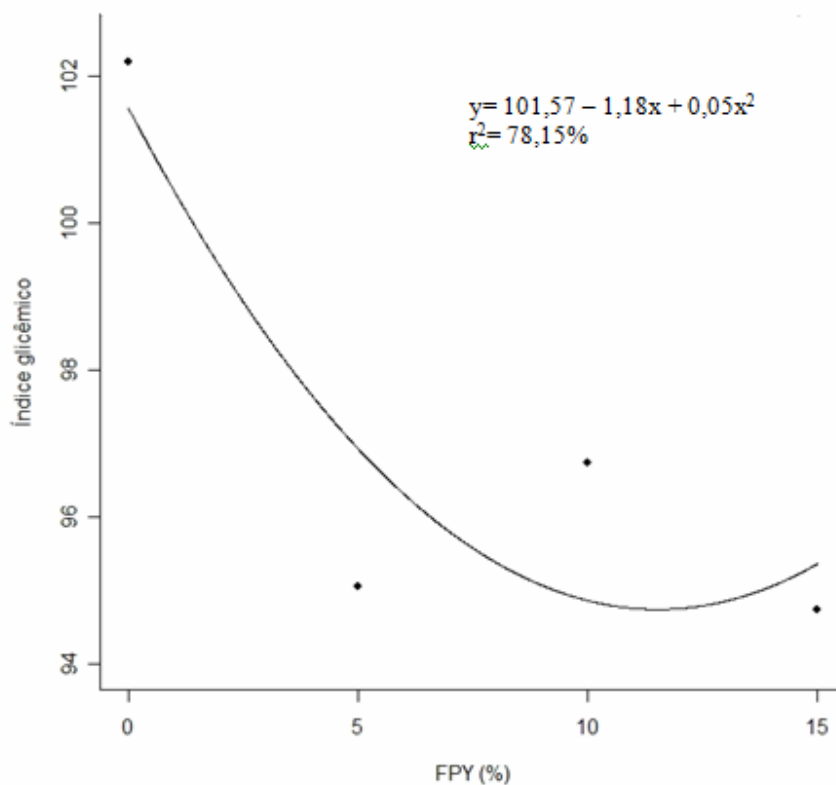


FIGURA 4 Índices glicêmicos das dietas contendo diferentes porcentagens de FPY (0%, 5%, 10% e 15%), em detrimento ao amido, avaliadas nos animais experimentais.

Após o cálculo do índice glicêmico das dietas, pôde-se observar redução significativa ($p < 0,05$) do mesmo para as dietas contendo FPY. A inserção de qualquer das quantidades (5%, 10% e 15%) de FPY reduziu o IG com a mesma intensidade.

Esses resultados confirmam a presença de substâncias no yacon consideradas fibras solúveis e para as quais o efeito na redução da velocidade de absorção da glicose vem sendo atribuído, tanto devido ao retardo do esvaziamento gástrico como em decorrência da adsorção e interação com os

nutrientes, conferindo uma menor superfície de contato direto com a parede do intestino delgado. A maior resistência à difusão através da mucosa ocorre em virtude da viscosidade conferida ao bolo alimentar de uma dieta rica em fibras. Em relação às fibras insolúveis, os dados disponíveis ainda são inconsistentes (Sartorelli & Cardoso, 2006). Além disso, pode-se dizer que a FPY não possui substâncias como os carboidratos simples em quantidades suficientes para produzir picos bruscos de glicemia.

Ao se derivar a equação de regressão de índice glicêmico das dietas, pode-se sugerir que o acréscimo do teor de 11,8% de FPY proporcionaria o menor índice glicêmico para a dieta.

Vale ressaltar que o presente estudo objetivou avaliar o IG de dietas contendo farinha da polpa de yacon, utilizando como referência a dieta padrão da AIN93-M. Então, por não ter sido utilizado um alimento hiperglicêmico como referência, por exemplo, a glicose, os picos pós-prandiais iniciais do grupo controle não foram tão altos e, por consequência, não tão discrepantes ao serem comparados aos picos dos grupos teste.

Pereira (2007) também avaliou o IG de dietas em animais tratados com farinha da polpa e farinha da casca de banana, utilizando a dieta padrão da AIN93-M como referência e pôde constatar redução significativa da curva glicêmica dos animais que consumiram farinha da polpa de banana nas concentrações de 10% e 15%, fato que não ocorreu com animais que ingeriram a farinha da casca de banana. Redução significativa do IG também foi observada no presente trabalho de forma homogênea para os diferentes níveis (5%, 10% e 15%) de adição de FPY.

Dietas ricas em alimentos com alto índice glicêmico são associadas com elevada glicemia pós-prandial, altos níveis de insulina e aumento da demanda de secreção de insulina. Por outro lado um aumento no consumo de alimentos de

baixo índice glicêmico e especialmente fibras tem o resultado oposto (Zeghichi, 2003).

O índice glicêmico inferior apresentado pelas dietas contendo farinha da polpa de yacon em relação á dieta padrão sugere que este produto pode ser benéfico no que diz respeito à prevenção de estados hiperglicêmicos, podendo constituir-se em uma ferramenta importante na alimentação que vise a prevenção e tratamento de patologias como o diabetes mellitus. Estudos com maior tempo de duração e com outras concentrações de farinha da polpa de yacon precisam ser realizados para avaliar mais profundamente o potencial efeito das fibras contidas neste alimento.

Afinal, dietas com alto teor de fibra alimentar têm apresentado resultados positivos em indivíduos diabéticos, como melhora da tolerância à glicose, aumento da taxa secretória de insulina e redução da hiperglicemia, sendo a fração solúvel da fibra alimentar apontada como responsável por esses efeitos fisiológicos benéficos. Os mecanismos para explicar tais ações envolvem alteração na velocidade de difusão da glicose, devido à formação de gel no lúmen intestinal, modificação na estrutura da mucosa do intestino e aumento da produção de mucina, que atua como barreira para absorção de glicose (Derivi et al., 2002).

A análise da glicemia pós-prandial neste trabalho foi realizada com 9 pontos totalizando 2 horas, tempo adequado para elaboração da curva glicêmica e cálculo do IG do alimento teste ou como neste caso dieta teste, uma vez que foram utilizados animais sadios, pois, de acordo com Cozzolino (2006), o tempo total de 2 horas de análises a cada 15 minutos, é indicado para indivíduos sadios, e um tempo maior de 3 horas é necessário para indivíduos diabéticos.

A avaliação da resposta glicêmica diretamente do alimento deve ser realizada com animais sadios para que não haja interferências que possam vir a influenciar o IG de um dado alimento (Pereira, 2007). No entanto, após a

determinação do IG e caso o resultado seja satisfatório, deve-se proceder com estudos que utilizem animais diabéticos, com intuito de buscar alternativas para a alimentação de indivíduos acometidos por tal patologia.

3.4 Lipídeos fecais

As concentrações de lipídeos presentes nas fezes dos animais experimentais após os diferentes tratamentos estão apresentadas na Figura 5.

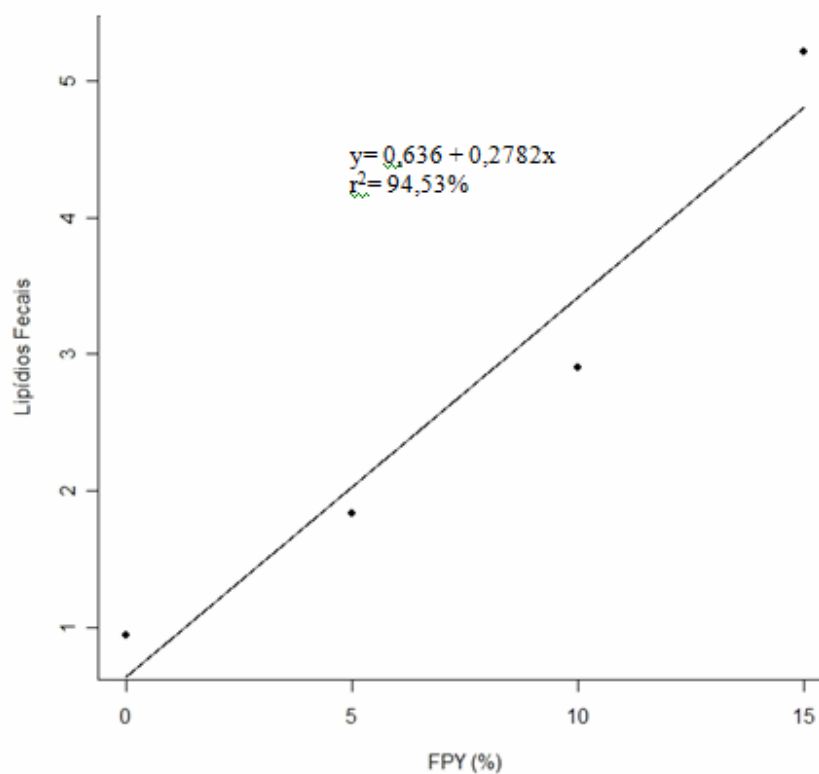


FIGURA 5 Conteúdo de lipídeos fecais (%) de animais tratados com dieta padrão (0% FPY), dieta com 5% de FPY, dieta com 10% de FPY e dieta com 15% de FPY.

De acordo com a análise de regressão, seguida de teste de regressão a 5%, pode-se afirmar que houve diferença significativa entre os grupos experimentais, sendo que a elevação da porcentagem de adição de FPY na dieta causou um aumento proporcional no teor de lipídeos nas fezes dos animais.

Segundo Raupp et al. (2000), algumas fibras apresentam a capacidade de complexar-se com outros constituintes da dieta, como as substâncias tóxicas, podendo arrastá-los para a excreção fecal. Os nutrientes da dieta, como proteínas, minerais, carboidratos digeríveis e lipídeos, também poderão ser excretados em maior ou menor quantidade, dependendo da fibra presente na dieta.

Raupp et al. (2004), pesquisaram o efeito da polpa refinada de maçã, a qual continha 91,91% de fibra alimentar total em matéria seca, e do farelo de trigo sobre o arraste via fecal de nutrientes ingeridos na dieta e puderam observar que os lipídeos foram significativamente ($p < 0,05$) arrastados para as fezes apenas quando os ratos receberam dieta contendo 25% de polpa refinada de maçã ou farelo de trigo, teor este superior ao utilizado no presente estudo.

Um estudo realizado para avaliar o efeito de bagaço de mandioca hidrolisado obtido a partir do descarte sólido de polvilheiras (FAT= 60,9% em matéria seca) sobre o arraste de lipídeos para as fezes, constatou que este parâmetro foi maior para ratos que receberam tratamento com doses mais elevadas da fonte de fibra alimentar, 15% e 25%, concentrações estas que conseguiram arrastar proporções de 5,2% e 6,0% de lipídeos, respectivamente. Já o grupo sem fonte de fibra, apresentou excreção de lipídeos de 0,7% (Raupp et al., 2002). No presente trabalho, a adição de 15% de FPY causou arraste fecal de lipídeos de 5,2%, semelhante ao estudo citado anteriormente com a adição de bagaço de mandioca hidrolisado na mesma proporção.

4 CONCLUSÕES

A inserção de farinha da polpa de yacon nas dietas não influenciou o consumo, ganho de peso e coeficiente de eficácia alimentar, bem como não interferiu na glicemia de jejum de ratos normoglicêmicos.

As dietas contendo farinha da polpa de yacon, em quaisquer das concentrações estudadas (5%, 10% e 15%), resultaram em menores glicemias pós-prandiais e apresentaram índices glicêmicos significativamente menores em relação à dieta padrão.

Além disso, foi observado arraste fecal de lipídeos, sendo este proporcional aos níveis de farinha da polpa de yacon acrescentadas às dietas teste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS **Official methods of analysis of the Association**. 12. ed. Washington: AOAC, 1990. 1140p.

BRASIL. Lei Federal nº 6.638, de 8 de maio de 1979. Estabelece normas para a prática didático-científica da vivisseção de animais e determina outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, p. 1, 10 maio 1979.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2.ed. Barueri: Manole, 2006. 996 p.

DAVIES, J.R.; BROWN J.C.; LIVESEY, G. Energy values and energy balance in rats fed on supplements of guar gum or cellulose. **British Journal of nutrition**, v.65, p.415-433, 1991.

DERIVI, S.C.N.; MENDEZ, M. H. M.; FRANCISCONI, A. D. Efeito hipoglicêmico de rações à base de berinjela (*Solanum melongena*,L.) em ratos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 164-169, 2002.

DIRLEWANGER, M. SCHNEITER, P.; JÉQUIER, E.; TAPPY, L. Effects of fructose on hepatic glucose metabolism in humans. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**. v. 279, n. 4, p. E907-11, 2000.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programas e resumos...** São Carlos, SP: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FLINT, A.; MOLLER, B. K.; RABEN, A.; PEDERSEN, D.; TETENS, I.; HOLST, J. J.; ASTRUP, A. The use of glycaemic index tables to predict glycaemic index of composite breakfast meals. **British Journal of Nutrition**, v. 91, n. 6, p. 979-989, June 2004.

GELONEZE, B.; LAMOUNIER, R. N.; COELHO, O. R. Hiperglicemia pós-prandial: tratamento do seu potencial aterogênico. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 87, n. 5, 2006.

GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A., SÁNCHEZ, S. S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, p. 1657-1665, 2005.

GROSS, J. L.; FERREIRA, S. R.G.; OLIVEIRA, J. E. Glicemia Pós-Prandial. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**. v. 47, n. 6, Dez. 2003.

KISS, A.C.I.; TAKAKU, M.; DAMASCENO, D.C.; CAMPOS K.E.; SINZATO, Y.K.; LIMA, P.O.; VOLPATO, G.T. Efeito do extrato aquoso de *Allium sativum* L. sobre parâmetros bioquímicos de ratas com diabete induzido por Streptozotocin. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 24-30, 2006.

LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F.; WITTIG DE PENNA, E.; MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud**. Obtección, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Projeto CYTED XI.6 “Obtención y caracterización de fibra dietética para su aplicación en regimenes especiales”. São Paulo: CNPq/Varela, 2001.

MABEL, M. J.; MABEL, M.J.; SANGEETHA, P.T.; PLATEL, K.; SRINIVASAN, K.; PRAPULLA, S.G. Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics. **Carbohydrate Resource**. v. 343, Issue 1, p. 56-66, jan.2008.

NOMIKOS, T. Boiled wild artichoke reduces postprandial glycemic and insulinemic responses in normal subjects but has no effect on metabolic syndrome patients. **Nutrition Research**. v. 27, 741–749, 2007.

PELLET, P. L.; YOUNG, V. R. **Nutritional evaluation of protein foods: report of a working group sponsored by The International Union of Nutritional Sciences and the United Nations University World Hunger Programme**. Tokyo: The United Nations University, 1980. p. 153.

PEREIRA, M. C. A. **Influência do consumo de farinhas da polpa e casca de banana e do fermentado de quefir nos níveis glicêmicos e lipídêmicos de ratos**. 2007. 127 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RAUPP, D.S.; SGARBIERI, V.C. Efeitos de frações fibrosas extraídas de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) na utilização de macro e micronutrientes da dieta pelo rato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.16, n. 2, p.100-107, 1996.

RAUPP, D.S.; MARQUES, S. H. P.; ROSA, D. A.; CALDI, C. M.; CREMASCO, A. C. V.; BANZATTO, D. A. Arraste via fecal de nutrientes da ingestão produzido por bagaço de mandioca hidrolisado. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.235-242, 2002.

RAUPP, D. S.; CREMASCO, A. C. V.; CALDI, C.M.; MARQUES, S. H. P.; BANZATTO, D. A. Polpa refinada de maçã promove arraste via fecal de nutrientes ingeridos na dieta. **Publicatio UEPG Ciências Biológicas e da Saúde**, Ponta Grossa, v. 10, n. 3/4, p. 77-83, set./dez. 2004.

RAUPP, D.S.; CARRIJO, K.C.R.; COSTA, L.L.F.; MENDES, S.D.C.; BANZATTO, D.A. Propriedades funcionais digestivas e nutricionais de polpa refinada de maçã. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.395-402, 2000.

REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEEY, G. C. AIN-93 Purified diets for laboratory rodents: Final report of the American Institute of Nutrition ad Hoc Writing Committe on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 123, n. 11, p. 1939-1951, 1993.

SARTORELLI, D.; CARDOSO, M. A. Associação entre carboidratos da dieta habitual e diabetes mellitus tipo 2: evidências epidemiológicas. **Arquivos Brasileiros Endocrinologia e Metabologia**, v.50, n.3, p. 415-426, Jun. 2006.

SCHWEIZER, T.F.; EDWARDS, C.A. **Dietary Fibre – A Component of Food, Nutritional Function in Health and Disease**. London: Springer-Verlag, 1992. 354p.

SEVA-PEREIRA, A.; MORAES, G.R.; OLIVEIRA, S.P.; REYES, F.G.R. Uso de biscoito rico em fibras no tratamento da constipação intestinal crônica. **Revista Paulista de Medicina**, v.109, p.265-268, 1991.

TOMA, R.B.; CURTIS, D.J. Dietary fiber: effect on mineral bioavailability. **Food Technology**, v.2, p.111-116, 1986.

VIEGA, S. D.; OLIVEIRA, V. R.; FUKU, G. Análise química e sensorial de leite com farinha de yacon e sua resposta glicêmica em indivíduos saudáveis. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS, 7., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Latino Americana de Ciência de Alimentos, 2007.

WALKER, A.R.P. Effect of high crude fiber intake on transit time and the absorption of nutrients in South African Negro schoolchildren. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.28, p.1161-1169, 1975.

ZEGHICHI, S.; KALLITHRAKA, S.; SIMOPOULOS, A. P.; KYPRIOTAKIS, Z. Nutritional composition of selected wild plants in the diet of Crete. **World Revista de Nutrição e Dietética**; v. 91, p. 22-40, 2003.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A	Análise de variância de glicemia de jejum de animais tratados com diferentes tipos de dietas em dois tempos166
TABELA 2	Análise de variância de índice glicêmico de animais tratados com diferentes tipos de dietas166
TABELA 3	Análise de variância de lipídeos fecais de animais tratados com diferentes tipos de dietas166

ANEXO A

TABELA 1A Análise de variância de glicemia de jejum de animais tratados com diferentes tipos de dietas em dois tempos

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	3	117,750000	39,250000	1,028	0,3905
Ponto	1	1302,083333	1302,083333	34,101	0,0000
Trat*Ponto	3	58,083333	19,361111	0,507	0,6796
Erro	40	1527,333333	38,183333		
Total corrigido	47	3055,250000			

CV (%)= 7,64

Média geral= 80,8750

Nº de observações= 48

TABELA 2A Análise de variância de índice glicêmico de animais tratados com diferentes tipos de dietas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	3	241,878150	71,626050	6,521	0,0030
Erro	20	219,671033	10,983552		
Total corrigido	23	434,549183			

CV (%)= 3,41

Média geral= 97,1858

Nº de observações= 24

TABELA 3A Análise de variância de lipídeos fecais de animais tratados com diferentes tipos de dietas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	3	61,403883	20,467961	19,267	0,0000
Erro	20	21,246767	1,062338		
Total corrigido	23	82,650650			

CV (%)= 37,86

Média geral= 2,7225

Nº de observações= 24