

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**GABRIEL EMILIANO MOTTA**

**PRODUÇÃO DE XAROPE COM ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE FRUTOSE A  
PARTIR DO YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

**FLORIANÓPOLIS**

**2017**

GABRIEL EMILIANO MOTTA

**PRODUÇÃO DE XAROPE COM ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE FRUTOSE A  
PARTIR DO YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Miguel Müller

FLORIANÓPOLIS

2017



## RESUMO

O yacon é um alimento ainda pouco explorado, devido a sua curta vida de prateleira quando não armazenado em condições corretas, alto custo no varejo e pequena divulgação de suas propriedades prebióticas. Por outro lado, é um tubérculo de fácil adaptação a diferentes climas e solos, que contém elevado teor de umidade e de baixo valor calórico. Diferente da maioria dos tubérculos não apresenta amido como carboidrato de reserva, mas sim a inulina, que é carboidrato com função prebiótica. Prebióticos caracterizam-se pela resistência aos processos de digestão e absorção em humanos, são fermentados pela microbiota que coloniza o sistema gastrointestinal e estimulam seletivamente o crescimento de bactérias dentro do sistema gastrointestinal, alterando a microbiota colônica em favor de uma composição mais saudável. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi a elaboração de um xarope com elevado teor de frutose oriundo do Yacon e avaliar o rendimento produtivo, as características físico-químicas (pH, cor, viscosidade, massa específica e sólidos solúveis), os compostos fenólicos e a quantificação dos carboidratos (glicose, frutose e sacarose). O rendimento apresentado pela produção do xarope em um evaporador vertical rotativo adaptado foi de 7,94 %. O pH encontrado foi de  $4,77 \pm 0,07$ . O teor de sólidos solúveis foi analisado em refratômetro portátil e resultou em  $73 \pm 0,1^\circ$  Brix. A massa específica foi avaliada utilizando um picnômetro de 30 ml, o resultado foi  $1,49 \pm 0,01 \text{g.mL}^{-1}$ . O comportamento reológico foi de um fluido pseudoplástico, pois a viscosidade aparente diminuía quando a taxa de deformação aumentava. O xarope apresenta uma cor escurecida e fazendo uso de um colorímetro, utilizando a escala CIELab, os parâmetros encontrados respectivamente, para L, a e b, foram  $21,48 \pm 0,28$ ,  $6,21 \pm 0,22$  e  $4,97 \pm 0,15$  respectivamente. A determinação do teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante foram realizadas a partir dos métodos de Folin-Ciocalteu e do radical DPPH, respectivamente, apresentando  $8,621 \pm 0,89 \mu\text{GAE mL}^{-1}$ , EC50 de  $387,99 \pm 0,02 \text{g L}^{-1}$ . Pelo método Trinder a concentração de glicose foi determinada no xarope de yacon e no xarope de yacon hidrolisado, fazendo-se o balanço de carboidratos entre os resultados a porcentagem de frutose e inulina foi de 85,7 %, de sacarose de 1,35 % e de glicose 12,95 %.

**Palavras – chave:** yacon, xarope, elevada concentração de frutose.

## ABSTRACT

Yacon is a poorly exploited food because it has a short shelf life (if not stored under refrigeration), a high cost (retail), and a small dissemination of its prebiotic properties. On the other hand, it is an easily adaptable tuber, which contains a large amount of water (product with low caloric value) and unlike most tubers, it does not present starch as a reserve carbohydrate, but inulin, which is a prebiotic. Prebiotics are characterized by resistance to digestion and absorption processes in humans, are fermented by the microbiota that colonizes the gastrointestinal system and selectively stimulate the growth of bacteria within the gastrointestinal system, altering the colonic microbiota in favor of a healthier composition. The objective of this work was the elaboration of high fructose syrup from yacon and to evaluate yield, physical and chemical characteristics (pH, color, viscosity, specific mass and soluble solids), phenolic compounds and to quantify the carbohydrates (glucose, fructose and sucrose) (glucose, fructose and sucrose). The yield presented by the production of the syrup in an adapted rotary vertical evaporator was 7.94 %. The pH found was  $4.77 \pm 0.07$ . The soluble solids content was analyzed in portable refractometer and resulted in  $73 \pm 0.1$  ° Brix. The specific mass was evaluated using a 30 ml pycnometer, the result was  $1.49 \pm 0.01$  g mL<sup>-1</sup>. The rheological behavior was of a pseudoplastic fluid, because the apparent viscosity decreased when the rate of deformation increased. The syrup presented a darkened color and using a colorimeter, adapted to a CIELab scale, the parameters found respectively for L, a and b, were  $21.48 \pm 0.28$ ,  $6.21 \pm 0.22$  and  $4.97 \pm 0.15$  respectively. The determination of the content of phenolic compounds and antioxidant activity were performed using the Folin-Ciocalteu and DPPH radicals, respectively, presenting  $8,621 \pm 0,89$  µg GAE mL<sup>-1</sup>, EC50 of  $387,99 \pm 0,02$  g L<sup>-1</sup>. By the Trinder method the glucose concentration was determined in the yacon syrup and the hydrolyzed yacon syrup, and the carbohydrate balance was obtained between the results, the percentage of fructose and inulin was 85.7 %, sucrose content was 1.35 % and 12.95 % glucose.

**Key words:** yacon, syrup, high fructose concentration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do yacon no mundo .....	15
Figura 2 - Estrutura molecular da inulina .....	20
Figura 3 - Sistema de coordenadas de cores CIELAB, 1976 .....	32
Figura 4 - Taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento.....	37
Figura 5 - Curva padrão do ácido gálico, no eixo das abcissas está a concentração de ácido gálico em $\mu\text{g mL}^{-1}$ e no eixo das coordenadas a absorvância.....	39
Figura 6 - Atividade antioxidante versus a concentração em $\text{g L}^{-1}$ de amostra.....	40
Figura 7 – Absorvância versus a concentração da solução padrão de glicose .....	41

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição química do yacon encontrada em diferentes estudos .....	18
Quadro 2 - Concentração de inulina e oligofrutos em diferentes vegetais .....	20
Quadro 3 - Níveis de evidência para o risco do desenvolvimento de obesidade, diabetes tipo 2, doença cardiovascular (DCV), câncer e osteoporose .....	22
Quadro 4 - Exemplos de novos alimentos/ ingredientes, substâncias bioativas e probióticos com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde, aprovadas pela ANVISA.....	24
Quadro 5 - Benefícios do consumo de prebiótico, probiótico e simbiótico: resumo de estudos clínicos.....	26

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 JUSTIFICATIVA .....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 OBJETIVOS GERAIS .....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 YACON .....	15
4.2 ADAPTAÇÃO, CULTIVO E PRODUTIVIDADE DO YACON .....	16
4.3 COMPOSIÇÃO DO YACON .....	17
4.4 FRUTANOS: INULINA E FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS .....	19
4.5 ALIMENTO FUNCIONAL: IMPORTÂNCIA E CONSUMO .....	21
4.6 ALIMENTOS FUNCIONAIS NO BRASIL .....	23
4.7 PREBIÓTICOS E PROBIÓTICOS COMO ALIMENTOS FUNCIONAIS.....	24
4.8 EFEITOS BENÉFICOS DOS PREBIÓTICOS, PROBIÓTICOS E SIMBIÓTICOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.9 PRODUTOS ELABORADOS A PARTIR DO YACON .....	27
4.10 PROCESSAMENTO DO XAROPE DE YACON.....	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	30
5.1 ELABORAÇÃO DO EXTRATO DE YACON .....	30
5.2 CONCENTRAÇÃO, CÁLCULO DO RENDIMENTO, ENVASE E ARMAZENAMENTO DO XAROPE.....	30
5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS .....	30
5.3.1 SÓLIDOS SOLÚVEIS .....	30
5.3.2 MASSA ESPECÍFICA .....	30
5.3.3 VISCOSIDADE .....	31
5.3.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA.....	31
5.3.5 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH).....	32
5.4 QUANTIFICAÇÃO DE CARBOIDRATOS POR MEIO ENZIMÁTICO- COLORIMÉTRICO (TRINDER).....	32
5.5 DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS .....	33
5.6 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	34

<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
6.1	RENDIMENTO DA PRODUÇÃO DO XAROPE .....	36
6.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS .....	36
6.2.1	Massa específica.....	36
6.2.2	Análise Colorimétrica .....	36
6.2.3	Viscosidade.....	37
6.2.4	Sólidos Solúveis.....	37
6.2.5	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	38
6.3	COMPOSTOS FENÓLICOS .....	38
6.4	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	39
6.5	QUANTIFICAÇÃO DE CARBOIDRATOS POR MEIO ENZIMÁTICO- COLORIMÉTRICO (TRINDER).....	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O açúcar, segundo o Regulamento Técnico para Açúcares e Produtos para Adoçar (ANVISA, 2005), é a sacarose obtida a partir do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou de beterraba (*Beta vulgaris L.*). Também são considerados açúcares os monossacarídeos e demais dissacarídeos, podendo ser encontrados em diversas granulometrias e formas de apresentação. O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, com estimativas de 37.800 toneladas na safra 2016/17. Para essa safra, estima-se que o consumo mundial seja de 100.000 toneladas de açúcar, tendo a Índia a líder em consumo seguido da União Europeia, China, Estados Unidos e Brasil (USDA, 2016).

A Organização Mundial da Saúde lançou em 2015 a diretriz intitulada Ingestão de Açúcares por Adultos e Crianças, que determina que o consumo diário de açúcar em uma dieta saudável, não deve ultrapassar 10% das calorias ingeridas, ou seja, 50 g de açúcar. A diretriz tem por objetivo formular recomendações sobre a ingestão de açúcares livres a fim de reduzir o risco de contração de doenças não transmissíveis em adultos e crianças, como diabetes tipo 2, sobrepeso e obesidade, problemas cardiovasculares e cáries dentárias. O açúcar total consumido diariamente é composto pelo açúcar de mesa utilizado no preparo de refeições e açúcares adicionados aos alimentos, refrigerantes e bebidas prontas para consumo, além do mel, xaropes e sucos de frutas com adição de açúcar (WHO, 2015).

A palatibilidade dos alimentos é popularmente associada a sabores agradáveis, especialmente ao gosto doce. Muitas plantas possuem açúcares simples em seus tecidos, mas apenas a cana-de-açúcar e a beterraba são usadas para extração de sacarose em quantidades comerciais. Outros tipos de açúcares são obtidos a partir da clivagem dos polissacarídeos.

Substituto a sacarose, os adoçantes de mesa são produtos que conferem sabor doce aos alimentos e bebidas, sendo classificados como edulcorantes, podendo conter veículos na composição como: água, álcool etílico, amidos, amidos modificados, dextrinas, dextrose, frutooligosacarídeos, frutose, glicerina ou glicerol, isomalte, lactose, maltitol e seu xarope, maltodextrina, manitol, polidextrose, polietileno glicol, propilenoglicol, sacarose e sorbitol (ANVISA, 2005).

Dentre os edulcorantes, está a frutose, que possui efeito glicêmico reduzido em relação a sacarose e glicose. Dessa forma, os xaropes com alta concentração de frutose podem ser usados como adoçante, sob aprovação médica, em dietas de pacientes com hipoglicemia causada pela *Diabetes mellitus*.

O principal polissacarídeo usado para produzir xarope de frutose é o amido de milho. Porém, outros polissacarídeos como a inulina presente na Yacon (*Smallanthus sonchifolius*), chicória (*Cichorium intybus L.*) e agave (*Agave sisalana*) podem ser utilizados para a produção. Devido ao alto poder edulcorante da frutose, esses xaropes são utilizados em refrigerantes, chás prontos, doces e produtos de panificação.

O estudo e a produção do xarope obtido da hidrólise da inulina e das oligofrutoses presentes no Yacon apresenta a vantagem de ser mais doce que a sacarose (OLIVEIRA; NISHIMOTO, 2004), além disso, sabe-se que as enzimas intestinais humanas não são capazes de hidrolisar as ligações do tipo  $\beta(2\rightarrow1)$  presentes nesses carboidratos, assim, esses polímeros chegam intactos ao cólon atuando como fibra solúvel e principalmente como prebiótico, fatores importantes para a manutenção da saúde humana (ROBERFROID, 2005).

## 2 JUSTIFICATIVA

O xarope com elevada concentração de frutose oriundo do Yacon, é um produto de origem natural que apresenta baixo valor calórico e elevado grau de doçura. Apresenta em sua composição frutooligossacarídeos (FOS), prebiótico que estimula o crescimento das bifidobactérias, auxiliando na manutenção da saúde do trato gastrointestinal. Além disto, FOS não são metabolizados pelas bactérias causadoras das cáries. Por ter o comportamento fisiológico parecido ao das fibras solúveis, também auxilia a mobilidade intestinal. Muitos estudos têm mostrado que o consumo de FOS não aumenta os níveis de insulina no sangue, podendo ser utilizado por portadores de diabetes tipo 2.

O Yacon é comumente consumido *in natura*, desta forma a comercialização dos tubérculos é dependente do seu tamanho e aparência, gerando desperdício aos produtores, que pode ser revertido pela utilização em escala industrial para produção de xarope. Desta forma, este estudo visa a produção de um composto inovador na grande área de produtos adoçantes, que beneficiará não só os consumidores como também portadores de diabetes, problemas ortodônticos e no trato gastrointestinal. O Yacon, por ser uma planta facilmente adaptável, pode ser utilizado para rotação de culturas agrícolas, ou mesmo como cultura única, já que pode ser colhido durante todo o ano.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivos Gerais**

Produzir xarope com alta concentração de frutose e frutooligossacarídeos a partir da raiz tuberosa do Yacon (*Smallanthus sonchifolius*).

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Extrair a polpa do Yacon;
- Concentrar o extrato até ser alcançada a concentração final de xarope 73 °Brix;
- Determinar o rendimento produtivo do xarope.
- Quantificar a concentração de carboidratos;
- Determinar fatores físico-químicos;
- Determinar o teor de compostos fenólicos;

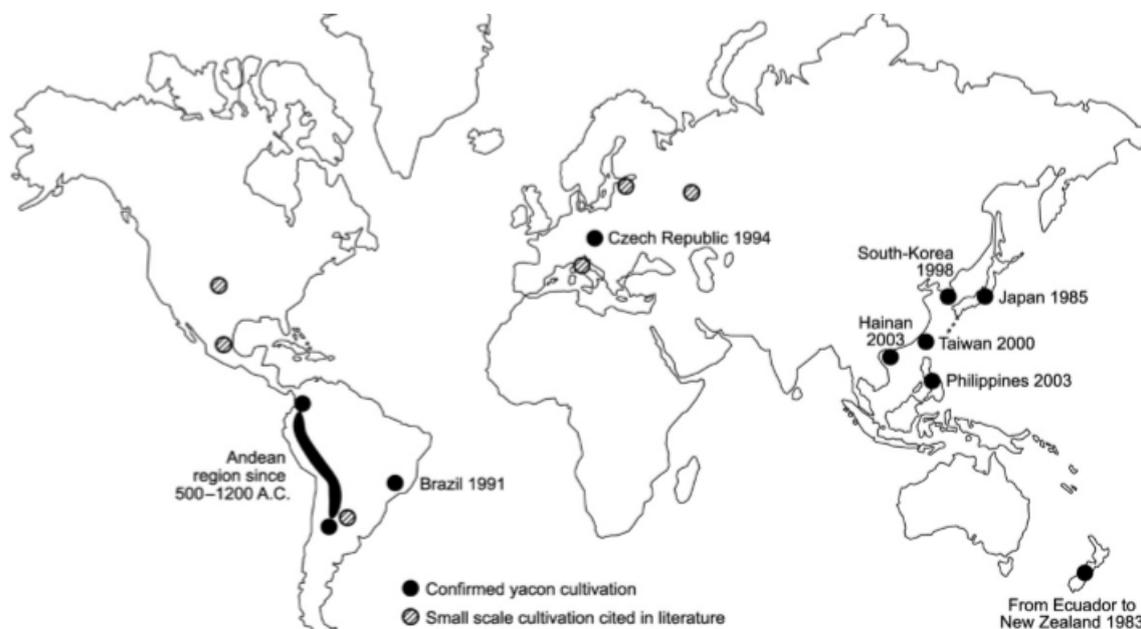
## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 YACON

Yacon (*Smallanthus sonchifollius*) é uma planta originária dos vales andinos da Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e noroeste da Argentina, em altitudes de 2000 a 3100 metros. Nessa região é cultivada desde a antiga civilização Inca, sendo utilizado na alimentação humana e em diferentes festividades. A palavra Yacon tem origem na palavra “yakku” que, no idioma andino Quéchua, refere-se a raiz que armazena água (NRC, 1989).

O primeiro registro escrito a respeito do Yacon e seu consumo foi realizado pelo padre historiador Bernabé Cobo no século XVI. Na década de 40, foi introduzido na Itália com intuito de produção de álcool etílico, mas em decorrência da segunda guerra mundial, seu uso não foi intensificado. Na década de 80, o cultivo da raiz teve uma dispersão pelo mundo, sendo levada para Nova Zelândia, Japão, República Checa, Coreia do Sul, Tailândia, Filipinas, Rússia, Estônia, Eslováquia, China e Taiwan como ilustrado na Figura 1 (NRC, 1989). A introdução à agricultura brasileira teve início na década de 90 por imigrantes japoneses (OJANSIVU et al., 2011).

Figura 1 - Distribuição do yacon no mundo



Fonte: OJANSIVU et al., 2011

## 4.2 ADAPTAÇÃO, CULTIVO E PRODUTIVIDADE DO YACON

O Yacon é uma espécie extremamente adaptável ao clima, altitude e tipo de solo, sendo que sua alta resistência ao frio e à seca está relacionada à grande quantidade de carboidratos de reserva nos órgãos subterrâneos. Além disso, seus rizóforos contêm gemas que regeneram uma nova planta a cada ano, após o inverno. Descrita como neutra ao fotoperíodo, alcança a maturidade a partir de sete meses após o plantio, quando tem início a floração, seguida da fase de senescência de toda parte aérea. Entre oito e dez meses de idade, quando a parte aérea começa a secar, é realizada a colheita das raízes tuberosas para fins comerciais e dos rizóforos, como material de propagação para o próximo plantio (NRC, 1989).

Do cultivo desse tubérculo são aproveitados, para o consumo humano, as raízes e as folhas (KAKIHARA et al., 1996). As folhas são utilizadas principalmente para infusões, sendo que a introdução do Yacon no Brasil, pelos imigrantes japoneses, foi para o consumo das folhas na forma de chá para o tratamento de diabetes e colesterol (SEMINARIO et al., 2003; VILHENA et al., 2000). As raízes são formadas por três partes distintas: os rizóforos, ricos em frutanos e fibras não digeríveis, as raízes de absorção e fixação; e as raízes tuberosas ou de reserva, também ricas em frutanos, mas menos fibrosas, mais suculentas e as mais apreciadas para o consumo humano (ZARDINI, 1991; BONUCELLI, 1989; LIZARRAGA et al., 1997, apud VILHENA et al., 2000).

A maior parte do Yacon é cultivado nos Andes em parcelas ou lotes familiares, para o próprio consumo, comercialização em feiras rurais ou em parcelas comerciais que não ultrapassam um hectare de cultivo, representando uma importante alternativa nutricional e econômica para a agricultura de subsistência e ocupando o lugar de frutas e vegetais na dieta de pequenas comunidades (NRC, 1989).

Esta raiz é uma fonte alimentar aquosa para que os camponeses que trabalham nas lavouras possam se refrescar. Entretanto, justamente por ser um alimento de baixo valor calórico, o seu uso foi negligenciado por muitos anos, uma vez que não representava um alimento que fornecesse energia suficiente para o trabalho árduo realizado nas frias regiões Andinas. Dessa forma, o cultivo de Yacon não se destacou nos sistemas agrícolas sul-americanos, em que se priorizou o cultivo da batata e do milho, culturas essenciais para a sobrevivência da população (GRAU et al., 2001). Em nível urbano, a falta de demanda para esta raiz poderia abranger algumas razões como a curta vida de prateleira, a falta de familiaridade do consumidor com este alimento (HERMANN & FREIRE, 1998).

O reconhecimento recente dos efeitos promissórios para a saúde advindos do consumo de Yacon aumentou o interesse comercial nos mercados das cidades, levando ao desenvolvimento de atividades comerciais em torno de seu cultivo (MANRIQUE & PÁRRAGA, 2005).

Além da adaptabilidade do Yacon em diferentes solos e climas, a planta possui em suas folhas dois sistemas de defesa: uma trama de pelos que dificulta o acesso dos insetos e uma alta densidade de glândulas. A associação destes mecanismos faz com que as folhas de Yacon sofram menos ataques por insetos, permitindo seu cultivo sem a utilização de agrotóxicos, gerando dessa forma, menor contaminação do produto e menores gastos em insumos agrícolas (GRAU et al., 2001).

Sua produtividade é elevada, dependendo da densidade populacional de tubérculos por hectare pode-se alcançar colheitas com rendimentos maiores do que 70 t há<sup>-1</sup> (ESPIRITO SANTO et al., 2003). Além disso, é passível de extensa variedade de processamentos alternativos e apresenta boa durabilidade pós-colheita se armazenado adequadamente, podendo ser armazenado por até 30 dias sob temperatura de 4 °C (KAKIHARA et al., 1996; apud VILHENA et al., 2000).

#### 4.3 COMPOSIÇÃO DO YACON

O teor de umidade do Yacon *in natura* pode variar entre 80 a 90%, dessa forma, as raízes apresentam baixo valor energético. Por outro lado, a vida de prateleira é significativamente reduzida para no máximo sete dias em condições não refrigeradas, uma vez que os tecidos internos são delicados, podendo romper-se facilmente durante a colheita, embalagem e transporte (SANTANA e CARDOSO, 2008).

A composição de matéria seca nas raízes tuberosas do Yacon varia de 10 a 14 %, fração composta por aproximadamente 90 % de carboidratos (digeríveis e não digeríveis), dentre os quais, frutose e glicose, sacarose e FOS (frutooligossacarídeos), além de traços de amido e inulina. A composição dos açúcares varia em função de fatores como: cultivar, época de cultivo e colheita, tempo e temperatura pós-colheita (KANASHIRO et al., 2008; VASCONCELOS et al., 2010).

A composição química média do Yacon (base seca) por tipo de carboidratos totais varia de 40 a 70 % de FOS, 5 a 15 % de sacarose, 5 a 15 % de frutose e menos de 5 % de glicose (MANRIQUE et al., 2005; MADRIGAL; SANGRONIS, 2007).

Em oposição à maioria dos tubérculos e raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, o Yacon armazena essencialmente FOS, açúcares que não podem ser digeridos

diretamente pelo organismo humano devido à ausência de enzimas necessárias para o metabolismo destes elementos, sendo, portanto, considerados componentes bioativos na alimentação humana (GENTA et al., 2009).

O potássio é o mineral mais abundante no Yacon (230 mg 100 g de matéria fresca comestível ou de 1 a 2 % de peso seco), presente em quantidades superiores ao da média das frutas comumente consumidas no Brasil como banana, laranja, limão, goiaba, maçã, mamão, manga, melancia, melão, pera, dentre outras. Em menores quantidades são encontrados cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre (MANRIQUE e PÁRRAGA, 2005; RODRIGUES et al., 2011; NEPA, 2011). Na tabela 1 são apresentados os principais compostos químicos encontrados em quatro estudos diferentes com o Yacon.

Quadro 1 - Composição química do yacon encontrada em diferentes estudos

<b>Substância</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Carboidratos (g/100g)	X	0,5	9,0-13,0	13,8
Proteínas (g/100g)	0,4-2,0	0,1	2,7-4,7	1
Gordura (mg/100g)	100-300	x	112-464	100
Água (g/100g)	70-93	85-90	x	81,3
Valor Calórico (kcal)/100g	X	14-22	15-22	x
Fibras (g/100g)	0,3-1,7	x	3,1-4,1	0,9
Cinzas (g/100g)	0,3-2,0	x	4,3-6,0	1,1
Potássio (mg/100g)	X	185-295	180-290	334
Cálcio (mg/100g)	23	6,0-8,0	56-131	12
Fosforo (mg/100g)	21	x	182-309	34
Ferro (mg/100g)	0,3	x	x	0,2
Retinol (mg/100g)	10	x	x	x
Carotenos (mg/100g)	0,08	x	x	0,13
Tiamina (mg/100g)	0,01	x	x	0,07
Riboflavina(mg/100g)	0,1	x	x	0,31

Fontes: (a) GRAU e REA, 1997,(b) MANIQUE et al., 2004 (c) HERMANN et al., 1999

(d) LACHMAN et al., 2003, x representa valores não determinados.

Algumas vitaminas como o retinol, tiamina, riboflavina, niacina, são encontradas no Yacon, geralmente, representam elementos traço em sua composição, exceto o ácido ascórbico. Outro composto também presente é o aminoácido triptofano, existente em quantidades médias de  $14,6 \pm 7,1 \mu\text{g g}^{-1}$  (TAKENAKA et al., 2003; ULRICHOVÁ, 2003).

O Yacon possui quantidade superior de compostos bioativos por grama de matéria fresca *in natura* (cerca de 200 mg 100 g<sup>-1</sup> matéria fresca comestível), dentre os quais destaca-se o ácido clorogênico, com níveis aproximados de  $48,5 \pm 12,5 \mu\text{g g}^{-1}$  de polpa fresca (VALENTOVÁ e ULRICHOVÁ, 2003). A presença de compostos fenólicos como ácidos clorogênico, ferúlico e caféico; quercetina e flavonoides como catequinas e proantocianidinas, tanto nas folhas como nas raízes de reserva de Yacon (SIMONOVSKA et al. 2003; TAKENAKA et al., 2003).

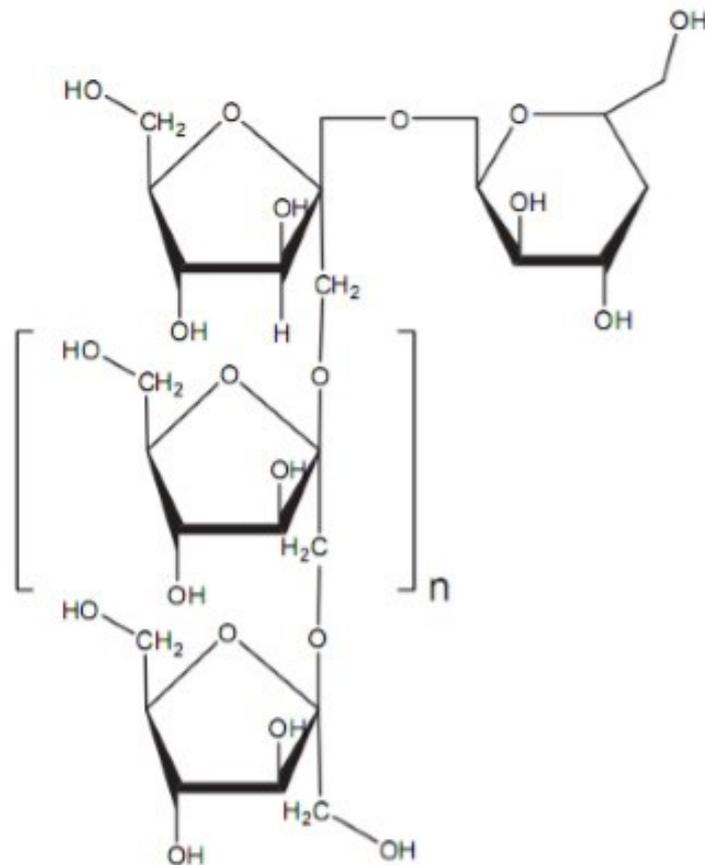
#### 4.4 FRUTANOS: INULINA E FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS

Frutano é um termo genérico empregado para descrever todos os oligo ou polissacarídeos em que uma ou mais ligações frutossil-frutose predominam dentre as ligações glicosídicas. Portanto, de forma genérica, são polímeros de frutose (SAAD et al., 2011). Estes polímeros de frutose podem ser lineares ou ramificados ligados por ligações  $\beta$  (2→1) ou  $\beta$  (2→6), encontrados, respectivamente, na inulina e nos frutanos do tipo levanos (CARABIN; FLAMM, 1999).

A inulina, a oligofrutose e os FOS são quimicamente similares, com as mesmas propriedades nutricionais. Essas semelhanças química e nutricional são conseqüentes à estrutura básica de unidades frutossil, bem como à sua via metabólica em comum. A única diferença entre a inulina, a oligofrutose e os FOS sintéticos é o grau de polimerização, ou seja, o número de unidades individuais de frutoses que compõem a molécula (CARABIN; FLAMM, 1999). A inulina mostrada na Figura 2 possui um grau de polimerização entre 10 e 60, enquanto a oligofrutose um grau de polimerização entre 2 e 9 (BIEDRZYCKA; BIELECKA, 2004).

O Yacon apresenta elevado teor de FOS nas raízes tuberosas. Atualmente, poucas plantas são utilizadas comercialmente na extração de FOS. A tabela 2 apresenta diferentes plantas e suas respectivas concentrações de oligofrutanos, as duas principais atualmente são chicória (*Cichorium intybus*) e alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus*) porém são espécies com baixo índice de colheita, sendo pequena a extração de FOS em relação à sua produção total (GRAU & KORTSARZ, 2001).

Figura 2 - Estrutura molecular da inulina



Fonte: Damodaran; Parkin; Fennema, (2010).

Quadro 2 - Concentração de inulina e oligofrutanos em diferentes vegetais

Vegetal	Parte	Conteúdo em material seco (g)	Conteúdo em Inulina (g)	Conteúdo em oligofrutanos (g)
Yacon	Raiz	13-31	3-19	3-19
Alho	Bulbo	40-45	9-16	3-6
Banana	Fruta	24-26	0,3-0,7	0,3-0,7
Cebola	Bulbo	6-12	2-6	2-6
Chicória	Raiz	20-25	15-20	5-10
Alcachofra	Folha/Coração	14-16	3-10	<1

Fonte: MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA, (2004).

#### 4.5 FRUTANOS COM PROPRIEDADE FUNCIONAL

As doenças crônicas não transmissíveis acometem milhões de pessoas e de acordo com a WHO. Em 2001, foram responsáveis por cerca de 60 % do total de 56.500 mil mortes no mundo. Um dos fatores que auxilia na redução do risco dessas patologias é a adoção de uma alimentação saudável, e isto, tem levado pesquisadores de todo o mundo a desenvolver estudos bioquímicos, nutricionais e toxicológicos com modelos animais, além de ensaios clínicos, na tentativa de descobrir alimentos com componentes bioativos capazes de reduzir o risco das doenças crônicas não transmissíveis (WHO, 2003).

Neste contexto, em 1980 no Japão originou-se o termo alimento funcional para designar os alimentos que contém compostos bioativos que afetam a estrutura e/ou função do organismo de forma benéfica, auxiliando na manutenção ou regulação da saúde (AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION, 2009).

A Food and Agriculture Organization (FAO) publicou algumas recomendações quanto ao consumo de alimentos, dieta e estilo de vida, sugerindo níveis de evidência científica (convincente diminuição de risco, provável diminuição de risco, etc.) para o risco do desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, de acordo com a qualidade, quantidade e os resultados dos estudos disponíveis (WHO, 2003). A Tabela 3 apresenta alguns exemplos desses níveis de evidência relacionados com o consumo de alimentos.

Quadro 3 - Níveis de evidência para o risco do desenvolvimento de obesidade, diabetes tipo 2, doença cardiovascular (DCV), câncer e osteoporose

	<b>Obesidade</b>	<b>Diabetes tipo 2</b>	<b>DCV</b>	<b>Câncer</b>	<b>Osteoporose</b>
Alta ingestão de fibra alimentar (NSP)	C↓	P↓	P↓		
Cálcio					C↓
Frutas (inclusive frutas vermelhas) e vegetais	C ↓ <sup>k</sup>	P ↓ <sup>K</sup>	C↓	P ↓ <sup>I</sup>	

Fonte: adaptado de WHO (2003).

Onde:

C↓: convincente diminuição de risco;

P↓: provável diminuição de risco;

NSP: polissacarídeos não amiláceos;

k: baseado nas contribuições de frutas e vegetais com polissacarídeos não amiláceos;

I: para câncer da cavidade oral, esôfago e colorretal.

Para uma determinada população, a prática dietética recomendada pela OMS (2003), associada ao estilo de vida saudável, deve modificar o risco atribuível de uma doença. Portanto, o consumo desses alimentos como parte habitual da dieta, e a diminuição da ingestão de açúcar, sal e gordura constitui uma maneira de prevenir o surgimento de muitas patologias. A divulgação de estudos como esse, possivelmente, explica o interesse da indústria de alimentos em relação aos alimentos funcionais. O ritmo global de crescimento dessa categoria de produtos é cerca de 10 % ao ano, índice três vezes maior que o de produtos alimentícios convencionais (TERRAVIVA, 2007).

Alimentos funcionais são ainda considerados uma área de estudo recente e, portanto, mais pesquisas sobre as substâncias bioativas presentes nesses alimentos são necessárias para

que se possa determinar seus efeitos benéficos com maior exatidão, e também as doses máximas e mínimas a serem ingeridas pela população, a fim de se obter os efeitos desejáveis.

#### 4.6 ALIMENTOS FUNCIONAIS NO BRASIL

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por regulamentar os alimentos funcionais no Brasil e somente em 1999, pela Resolução nº. 19/04/1999 é que foram estabelecidos os procedimentos para registro de alimentos e/ou ingredientes com alegação de propriedades funcionais e/ou de saúde. A alegação de propriedade funcional refere-se ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano, enquanto que a alegação de propriedade de saúde é aquela que afirma, sugere ou implica a existência da relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde (BRASIL, 1999).

Para que um alimento possa ser comercializado com alegação de funcionalidade, várias informações devem ser fornecidas para obtenção do registro na ANVISA. Dentre estas informações, deve-se apresentar uma descrição científica dos ingredientes do produto, segundo espécie de origem botânica, animal ou mineral; composição química com caracterização molecular, quando for o caso e/ou evidências científicas (ensaios nutricionais, fisiológicos e/ou toxicológicos em animais de experimentação, ensaios bioquímicos e clínicos, estudos epidemiológicos, comprovação de uso tradicional, observado na população, sem danos à saúde); além de outras evidências abrangentes da literatura científica e de organismos internacionais de saúde e legislação internacionalmente reconhecida sobre as propriedades e características do produto (BRASIL, 1999).

Esses procedimentos visam proteger o consumidor de “propagandas enganosas”, que poderiam anunciar no rótulo uma alegação funcional e/ou de saúde não encontrada no alimento. Para auxiliar as indústrias na rotulagem e registro de alimentos funcionais, a ANVISA (2008) determinou uma lista com o tipo de alegação que o novo alimento/ingrediente pode apresentar (Tabela 4). Nessa lista, têm-se os FOS, inulina e lactose que são prebióticos, e os probióticos, ambos utilizados para modular a microbiota intestinal, tanto do intestino delgado (probiótico) como do intestino grosso (prebiótico) (FERREIRA, 2003).

O sistema digestório dos mamíferos é formado por uma microbiota complexa que contém entre 500 a 1.000 espécies diferentes de microrganismos. A microbiota intestinal humana tem sua composição alterada em indivíduos com doenças inflamatórias, sugerindo que

determinadas espécies de bactérias são importantes na manutenção do balanço imunológico e da saúde (KELLY, KING e AMINOV, 2007; SHAH, 2007).

Quadro 4 - Exemplos de novos alimentos/ ingredientes, substâncias bioativas e probióticos com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde, aprovadas pela ANVISA

Componente	Alegação
FIBRAS ALIMENTARES	“As fibras alimentares auxiliam o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
FRUTO-OLIGOSSACARÍDEO (FOS)	“Os frutooligossacarídeos contribuem para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
INULINA	“A inulina contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
LACTULOSE	“A lactulose auxilia o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.

Fonte: adaptado de ANVISA (2008).

A microbiota intestinal está envolvida em várias funções fisiológicas, incluindo o desenvolvimento da barreira intestinal, produção de ácidos graxos de cadeia curta, transformação de ácidos biliares e síntese de vitaminas (BRUZZESE et al., 2006; GEIER, BUTLER e HOWARTH, 2007). O conhecimento da importância da microbiota intestinal na manutenção da saúde é um fator que tem estimulado o desenvolvimento de estudos para avaliar os benefícios do consumo de probióticos, prebióticos e simbióticos para o organismo humano.

#### 4.7 PREBIÓTICOS COMO ALIMENTO FUNCIONAL

Atualmente, encontra-se disponível no mercado prebióticos classificados como dissacarídeos (lactitol, lactulose, xilitol), oligossacarídeos (inulinas, frutooligossacarídeos,

galactooligosacarídeos, oligossacarídeos da soja, xilooligosacarídeos) e amido resistente (FAO, 2007).

Gibson (2004) descreveu alguns critérios para que um ingrediente possa ser considerado prebiótico, tais como: i) deve ser resistente aos processos de digestão e absorção do hospedeiro; ii) deve ser fermentado pela microbiota que coloniza o sistema gastrointestinal e iii) deve estimular seletivamente o crescimento e/ou a atividade de uma ou de um número limitado de bactérias dentro do sistema gastrointestinal, alterando a microbiota colônica em favor de uma composição mais saudável.

Além desses alimentos funcionais, encontram-se também no mercado os simbióticos, que contém ambos os componentes probiótico e prebiótico com benefício demonstrado à saúde humana. Os simbióticos podem aumentar a sobrevivência dos probióticos durante a passagem pelo trato digestório superior, pelo fato de seu substrato específico estar disponível para fermentação (GIBSON e ROBERFROID, 1995).

Alguns benefícios à saúde têm sido descritos na literatura científica decorrente da ingestão de prebióticos, tais como: modulação de funções fisiológicas, aumento da absorção de minerais, especialmente o cálcio, modulação do metabolismo de lipídios e da composição da microbiota intestinal (ROBERFROID, 2002). Em relação às culturas probióticas, destacam-se os seguintes benefícios: melhora do metabolismo da lactose, estimulação do sistema imune, alívio da constipação, aumento da absorção de minerais e redução de diarreia (SHAH, 2007). Os efeitos relatados advêm de resultados de pesquisas com humanos e animais, e são sumarizados na Tabela 5. Observa-se que dentre os micro-organismos probióticos avaliados, destacam-se os gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, e dentre os prebióticos, tem-se os FOS e inulina.

Quadro 5 - Benefícios do consumo de prebiótico, probiótico e simbiótico: resumo de estudos clínicos

<b>Referência</b>	<b>Casuística</b>	<b>Prebiótico</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Coudray et al. (1997)	Jovens saudáveis	Prebiótico (Inulina)	↑ Absorção aparente e balanço de Ca
Davidson et al. (1998)	Adultos hipercolesterolêmicos	Prebiótico (Inulina)	↓ Colesterol e LDL-c
Bouhnik et al. (2004)	Adultos saudáveis	Prebióticos (FOS, GOS*, etc.)	Efeito bifidogênico
Abrams et al. (2005)	Adolescentes	Prebiótico (Inulina)	↑ Absorção de Ca e melhora da mineralização óssea
Búrigo et al. (2007)	Adultos sob tratamento quimioterápico	Prebiótico (FOS)	Efeito bifidogênico
Arslanoglu, Moro e Boehm (2007)	Crianças (6 meses de vida)	Prebiótico (GOS e FOS)	↓ Infecções, especialmente a respiratória
Arslanoglu et al. (2008)	Crianças (2 anos)	Prebiótico (GOS e FOS)	↓ Manifestações alérgicas e infecções
Genta et al. (2009)	Mulheres obesas em idade pré menopáusia	Prebiótico (FOS)	↓ Peso corpóreo, ↓ IMC, ↓ circunferência abdominal, ↓ insulina sérica em jejum
Wong et al. (2010)	Adultos hiperlipidêmicos	Prebiótico (inulina)	Melhora do perfil lipídico

FOS – frutooligosacarídeos; GOS – galactooligosacarídeos.

Além das evidências científicas sobre os efeitos de prebióticos, probióticos e simbióticos apresentados nas Tabela 5, Segundo Gibson e Roberfroid (1995) a inulina e

oligofrutanos estimulam seletivamente o crescimento de bifidobactérias, que são bactérias probióticas, e mantêm em baixas contagens Bacteróides, *Clostridium* e/ou coliformes contribuindo na redução do risco de câncer de cólon.

Tem sido reportado que o uso de prebiótico pode melhorar as funções metabólicas da microbiota intestinal pela inibição da colonização por patógenos nos tecidos do epitélio intestinal. Desta forma, esses carboidratos não digeríveis poderiam auxiliar na redução do risco de doenças inflamatórias do intestino, tais como doença de Crohn's e colite ulcerativa (GUARNER, 2005; BOSSCHER, LOO e FRANCK, 2006; GEIER, BUTLER e HOWARTH, 2007).

O consumo de prebiótico favorece o aumento na contagem de bifidobactérias (BOUHNİK et al., 2004; BÚRIGO et al., 2007), e por isso, são chamados de fatores bifidogênicos. A administração de FOS na dose de 8 g dia-1 durante 4 semanas elevou a contagem de bifidobactérias nas fezes dos voluntários e também aumentou a excreção de colesterol no período do estudo (BOUHNİK et al., 2007).

Por outro lado, o consumo de doses maiores do que 0,29 g FOS por kg de massa corporal resultou em significativo efeito negativo ao organismo como: severa dor abdominal, diarreia, flatulência, náusea, etc. (Genta et al., 2009).

Vários são os estudos que apresentam evidências positivas em relação ao consumo de prebióticos, tabela 5. Contudo, alguns aspectos ainda não são claros, como por exemplo, a dose diária recomendada. Até o momento não há indicação de dose conforme o público alvo (crianças, jovens e idosos), relacionando-se com o efeito desejável. Outro ponto que deve ser melhor estudado é o período de consumo desses alimentos. Geralmente os resultados das pesquisas referem-se a períodos experimentais curtos (15 a 30 dias), sendo necessário então verificar se o benefício observado se mantém em períodos superiores a 30 dias.

#### 4.8 PRODUTOS ELABORADOS A PARTIR DO YACON

O modo de consumo do yacon pode variar de acordo com sua utilização, mas é consumida preferencialmente *in natura*, por apresentar sabor adocicado e refrescante (SEMINARIO & VALDERRAMA, 2003). Nos mercados andinos, o yacon é classificada como fruta e é exposta juntamente com as maçãs, os abacates e os abacaxis, em vez de ser colocada com as batatas e outras culturas de tubérculos e raízes (VALENTOVÁ & ULRICHOVÁ, 2003).

O yacon tem a aparência de batata doce e o seu sabor tem sido descrito como levemente adocicado, lembrando o sabor da melancia, apresentando crocância como de uma maçã recém-colhida. A casca do yacon apresenta uma cor que varia de marrom a uma tonalidade arroxeada,

enquanto a porção comestível pode ser branca, amarela, laranja ou roxa, dependendo da quantidade de pigmentos presentes na raiz (MANRIQUE et al., 2005). A desidratação da yacon, para obtenção de farinha tem se mostrado interessante, não só por aumentar a sua vida útil, mas também por facilitar sua incorporação na formulação de bolos, biscoitos, doces, sucos, dentre outros (SILVA, 2007).

Outra opção de comercialização e agregação de valores comercial ao yacon é a produção de sucos, que podem ser facilmente incorporados à dieta de diabéticos e da população em geral. Considerando tais características, esses produtos apresentam-se como alternativas alimentares de excelente valor nutritivo e funcional. Os frutanos presentes no yacon não necessitam de insulina para seu metabolismo, um dos fatores que justifica o desenvolvimento de novos produtos utilizando a raiz como alternativa de substituição ao açúcar, destinados a pacientes diabéticos (ALBUQUERQUE & ROLIM, 2011).

Outra opção de produção para os frutooligossacarídeos são na obtenção de xaropes ricos em frutose com elevado poder edulcorante, são empregados como adoçante na alimentação de diabéticos e na produção de álcool por fermentação (HATA et al. 1983; KOSARIC et al. (1984); HIDAKA et al. 1987). Além disso, em comparação com a sacarose, amido e açúcares simples, os frutanos presentes no yacon não causam cáries por não serem utilizados pela microflora bucal que leva à formação de ácidos e poliglucanos (ISEJIMA, 1997).

#### 4.9 PROCESSAMENTO DO XAROPE DE YACON

O alto teor de FOS, associado à presença de compostos bioativos benéficos à saúde, (SANTANA; CARDOSO, 2008; AYBAR et al., 2001) faz do yacon uma matéria prima interessante para a produção tanto de xaropes de alta concentração de frutose (MANRIQUE et al., 2005) quanto de alimentos e bebidas funcionais, definidos pela Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais como “o alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica, mediante a comprovação da sua eficácia e segurança por meio de estudos científicos” (VIEIRA, 2014).

A tecnologia para a produção do xarope de yacon atualmente comercializado em países como os Bolívia, Colômbia, Peru, e outros andinos é simples: extrai-se o suco das raízes e concentra-se o extrato até alcançar 73° Brix. A concentração inicial de açúcares nas raízes é de 8-12° Brix, sendo necessário evaporar uma grande quantidade de água para obter-se o efeito desejado.

Primeiramente, as raízes são lavadas com água em abundância para remoção de partículas de terra da superfície. Depois as raízes são imersas em água com concentração de 200 ppm de hipoclorito de sódio para a reduzir a concentração de microrganismos da superfície.

Após a lavagem, são descascadas manualmente com descascador de batatas. Recomenda-se a imersão das raízes descascadas em água para reduzir a oxidação.

Usa-se para a extração do suco das raízes um processador de sucos de cenoura, para diminuir o efeito oxidativo adiciona-se ácido ascórbico ao extrato.

O extrato é filtrado para acelerar o processo de concentração, separando os sólidos insolúveis do suco. O diâmetro do filtro não deve ser superior a 100 µm.

Após a filtração, o extrato é pré-evaporado em um trocador de calor para aumentar a concentração dos sólidos solúveis até aproximadamente 60° Brix. Para alcançar a concentração final usa-se um fogão doméstico para evitar que o xarope queime e seja possível alcançar valores superiores a 70° Brix (MANRIQUE, I.; HERMANN, M., 2005).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 ELABORAÇÃO DO EXTRATO DE YACON

As raízes de Yacon foram adquiridas de um produtor rural do município de Angelina (SC) e estocadas até seu uso em câmara fria a 4°C. Para evitar o escurecimento enzimático causado pela polifenol oxidase, as raízes foram lavadas, colocadas em contato com solução de ácido cítrico 5g/L, descascadas, picadas e postas em água pura.

Para extração, as raízes picadas foram imersas em água fervente (100°C) durante 10 minutos, trituradas com liquidificador industrial (METVISA) e prensadas em prensa manual contendo um saco 100% algodão, para remoção do bagaço. O extrato foi centrifugado em microcentrífuga de bancada (Novatecnica NT-820, Piracicaba, SP) a 3000 rpm, durante 15 minutos, para a remoção do material em suspensão.

### 5.2 CONCENTRAÇÃO, CÁLCULO DO RENDIMENTO, ENVASE E ARMAZENAMENTO DO XAROPE.

O extrato do Yacon foi concentrado em evaporador vertical rotativo adaptado a uma manta térmica, devido à presença majoritária de água em sua composição. A quantidade de xarope obtida foi pesada para cálculo do percentual de rendimento, mostrado pela equação 1:

$$\% \text{ Rendimento} = \frac{(\text{massa do xarope} \times 100)}{\text{massa dos tubérculos lavados.}} \quad (1)$$

O xarope foi envasado em frasco de vidro e armazenado em refrigerador a  $4 \pm 1$  °C.

### 5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

#### 5.3.1 Sólidos solúveis

A avaliação de sólidos solúveis foi realizada por leitura em refratômetro analógico portátil (Instrutherm RTA-100, São Paulo, SP) com resultados expressos em °Brix.

#### 5.3.2 Massa específica

A massa específica foi medida através da pesagem, em balança analítica (precisão 0,0001g) (Bioscale FA2204, São Paulo, SP) de 30mL de produto, medido em picnômetro tarado. As avaliações foram feitas em duplicata e os resultados foram expressos em média  $\pm$

desvio-padrão.

### 5.3.3 Viscosidade

Para determinar a medida de viscosidade utilizou-se o reômetro (Brookfield DV-III, USA) ligado a um banho termostático (MQBTC 99-20, Brasil). Uma alíquota de 0,5 mL foi transferida para o suporte inferior do equipamento e mantida a 25 °C. Utilizou-se o *spindle* CP-51 com ângulo de 1,5665° e GAP entre o cone e a placa de 0,015 mm. Este *spindle* é o modelo utilizado normalmente para soluções com viscosidade esperada superior à da água. A velocidade de rotação do *spindle* foi programada para variar de 1 a 4,8 rpm, com acréscimo de 0,8 entre as leituras e o torque permaneceu entre 20 e 90 %.

A viscosidade foi determinada pelo equipamento, e pela equação de Ostwald de Weale (lei da potência), representada na equação 2, determinou-se o  $n$  e o  $K$ . O valor da viscosidade foi expresso na forma de média  $\pm$  desvio padrão.

$$N = K \cdot \gamma^n \quad (2)$$

Onde:

$K$  = índice de consistência (Pa s<sup>n</sup>)

$\gamma$  = Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>)

$N$  = Viscosidade (mPa s)

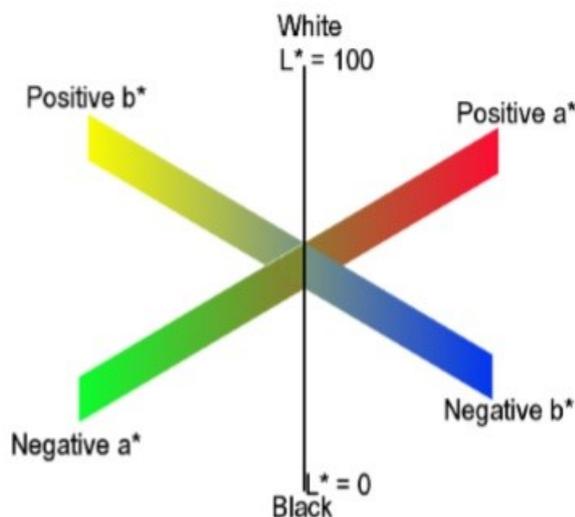
$n$  = índice de comportamento do fluido

### 5.3.4 Análise Colorimétrica

Fernandes (2002) coloca que a colorimetria é a ciência da medição da cor. Através da colorimetria, a cor pode ser expressa de uma forma numérica, fazendo uso de um colorímetro para medição de uma amostra. Esta forma numérica de se obter a cor é possível, desde que se trabalhe com valores padronizados quanto as fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano. A Figura 3 representa a escala CIELab.

Determinou-se a cor da amostra utilizando colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-400, Osaka, Japão), ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10° previamente calibrado, seguiram-se o método Konica Minolta (2007). A escala CIELab foi empregada para medir os parâmetros L\*, a\*, b\*, onde L\* representa a luminosidade, variando do preto (0) ao branco (100), a\* representa a variação da coloração de verde (+) para vermelho e b\* representa a variação da coloração de azul (-) para amarelo (+).

Figura 3 - Sistema de coordenadas de cores CIELAB, 1976



(Fonte: Star Color, 2004).

As análises foram realizadas em quadruplicata e seus resultados foram expressos por média  $\pm$  desvio padrão.

### 5.3.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Obteve-se as medidas em triplicata de pH da amostra através do pHmetro (AZ 8650, China) calibrado usando soluções tampão de pH igual a  $4,00 \pm 0,02$  e  $7,00 \pm 0,02$  da Vetec Química Ltda. O procedimento seguiu a Norma da ABNT NBR 9251:1986. Os resultados foram expressos na forma de média  $\pm$  desvio padrão.

### 5.4 Quantificação de Carboidratos por meio Enzimático-Colorimétrico (Trinder)

Para determinar a concentração de glicose presente no xarope do Yacon seguiu-se a metodologia proposta pelo Kit GLICOSE-PP (*ANALISA* Diagnóstica). A reação ocorre pela ação da glicose oxidase (GOD) que catalisa a oxidação da glicose para ácido glicônico e peróxido de hidrogênio. Através de uma reação oxidativa de acoplamento catalisada pela peroxidase (POD), o peróxido de hidrogênio formado reage com 4-aminoantipirina e fenol, formando um complexo de cor vermelha (quinoneimina), cuja absorbância medida em 500 nm, é diretamente proporcional à concentração de glicose na amostra.

Primeiramente, preparou-se uma solução padrão de glicose na concentração de  $1 \text{ g L}^{-1}$ , depois diluições seriadas foram realizadas para que fossem obtidas soluções com concentrações de  $0,5$ ,  $0,25$  e  $0,125 \text{ g L}^{-1}$ . De cada concentração,  $10 \mu \text{ L}^{-1}$  foram coletados e transferidos para *ependorfs*, contendo  $100 \mu \text{ L}^{-1}$  de reagente de cor. Esperou-se 20 minutos para que a cor fixasse

e realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Bel- PHOTONICS UV- MS1, Piracicaba, SP) no comprimento de onda de 500 nm, com as absorvâncias obtidas plotou-se um gráfico com absorvância pela concentração da solução de glicose.

Para determinar a concentração de glicose do xarope foram preparadas soluções com concentração de  $1\text{ g L}^{-1}$  do xarope do Yacon e do xarope do Yacon hidrolisado. Dos xaropes  $10\ \mu\text{ L}^{-1}$  foram coletados e transferidos para *ependorfs*, esses contendo  $100\ \mu\text{ L}^{-1}$  do reagente de cor, esperou-se 20 minutos para que a cor fixasse e leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 500 nm. Depois utilizando a equação da reta, obtida pelo padrão da glicose, calculou-se a concentração da glicose dessas amostras.

Para determinar a concentração de frutose e frutanos no xarope de Yacon supôs-se que no xarope hidrolisado ocorreu total hidrólise dos frutanos. Por meio de um balanço da concentração de carboidratos entre os dois xaropes pôde-se calcular o valor da frutose somado ao da inulina e também a fração de sacarose presente no xarope.

As análises foram feitas em triplicata e seus resultados foram expressos na forma média  $\pm$  desvio padrão.

$$F + I + G + S = 100 \% \quad (3)$$

Onde:

F = Fração de frutose;

I = Fração de inulina;

G=Fração de glicose;

S=Fração de sacarose;

## 5.5 Determinação de Compostos Fenólicos

A determinação do conteúdo total de fenólicos presentes no xarope foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteau, descrito por Singleton e Rossi (1965). A reação com o reagente de Folin-Ciocalteau baseia-se no princípio que, em meio alcalino, os compostos fenólicos presentes na amostra são energeticamente oxidados pela mistura dos ácidos fosfotungstínicos e fosfomolibídicos, componentes do reagente, em óxidos de tungstênio e molibdênio, apresentando coloração final azulada. Desta forma, é possível realizar leituras de absorvância a 765 nm, na faixa do espectro visível.

O resultado foi obtido através da comparação das absorvâncias das amostras, com uma curva padrão de ácido gálico de concentrações crescentes de 0, 50, 100, 150, 250 e  $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . A reação de oxidação foi realizada em balões volumétricos de 10 mL, sendo transferido para

estes 100 µL de cada uma das diluições, aos quais foram adicionados 2 mL de água destilada e 0,5 mL do reativo de Folin-Ciocalteu. Após 30 segundos e antes de 8 minutos da adição do reativo, adicionou-se 1,5 mL de solução aquosa de carbonato de sódio a 20% (m/v). Os balões foram completados com água destilada até a marca de 10 mL, agitados e deixados em repouso, ao abrigo da luz e em temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) por 2 horas, para que a reação ocorresse. A absorbância de cada uma das soluções foi medida em espectrofotômetro (8500II UV/VIS, Techcomp Ltda., Kowloon, Hong Kong), sendo o branco realizado com água destilada.

O teor de fenólicos total (TPC, da sigla em inglês para *Total Phenolic Content*) foi determinado através da substituição direta dos valores de absorbância na curva-padrão de ácido gálico. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em miligramas de equivalentes em ácido gálico por litro de produto ( $\text{mg GAE L}^{-1}$ ) como média  $\pm$  desvio padrão.

### 5.6 Avaliação Da Atividade Antioxidante do Xarope

O método DPPH, descrito por Mensor et al. (2001) baseia-se redução do radical DPPH (*2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*), uma vez que, pela disponibilidade de grupos hidroxila, os compostos fenólicos são capazes de sequestrar radicais através da transferência de elétrons. O radical produz uma coloração violeta quando em solução etanólica, de absorbância máxima em 517 nm. Quando esse composto recebe um elétron ou um radical hidrogênio, sua coloração muda para um tom amarelado, diminuindo assim sua absorbância. Desta forma, a capacidade da amostra em reduzir o DPPH é evidenciada pela percentagem de DPPH restante no sistema.

Foram adicionadas concentrações crescentes da amostra do xarope (10, 20, 50, 100, 250 e 300 e 500 µL) em solução etanólica de DPPH na concentração de 0,3 mM, por 30 minutos, com posterior leitura da absorbância em espectrofotômetro (8500II-UV/VIS, Techcomp Ltda., Kowloon, Hong Kong). O percentual de inibição das amostras testadas sobre o radical DPPH pode ser calculado convertendo-se a absorbância em porcentual de atividade antioxidante (% AA), conforme a Equação 4.

$$AA \% = 100 - \frac{(Abs_{amostra} - Abs_{branco}) \cdot 100}{Abs_{controle}} \quad (4)$$

Os valores obtidos para AA % foram plotados em um gráfico de AA% *versus* concentração, onde o ajuste dos pontos foi feito por regressão linear. A partir da regressão, obteve-se um valor conhecido como EC<sub>50</sub>, que representa a concentração de amostra para a qual

é obtida uma inibição de 50 % dos radicais (chamada “concentração efetiva”). Deste modo, quanto menor o valor de  $EC_{50}$ , maior o potencial antioxidante da amostra.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Rendimento da Produção do Xarope

A partir de 2348,541 g de Yacon *in natura* obteve-se 186,418 g de xarope, sendo o rendimento calculado de 7,94 %, e está de acordo como a faixa encontrada no trabalho de Manrique, Párraga e Hermann (2003), onde o rendimento do xarope de Yacon, com concentração de 73°Brix, variou de 5 a 10 %.

### 6.2 Características Físico-Químicas

O xarope de Yacon, diferentemente do melado, do xarope de milho, mel, etc. não apresenta uma identidade para produção e comércio, dessa forma, é necessário caracterizar o produto físico-quimicamente.

#### 6.2.1 Massa específica

O resultado obtido neste trabalho foi  $1,49 \pm 0,01 \text{ g mL}^{-1}$ , apresentando 10 % de aumento da massa específica em relação a trabalhos já publicado. No trabalho de Wartman, Spawn e Eliason (1984) avaliou xaropes com elevado teor de frutose produzidos a partir do milho e a massa específica média de xaropes com 73° Brix é  $1,37 \pm 0,01 \text{ g.mL}^{-1}$ . No trabalho de Manrique, Párraga e Hermann (2003) a massa específica média encontrada em xaropes de Yacon foi de  $1,35 \pm 0,01 \text{ g mL}^{-1}$ . Segundo Podadera (2007) a diferença na massa específica entre xaropes com a mesma concentração de sólidos solúveis é devida a mudança no volume decorrente da variação no teor de água.

#### 6.2.2 Análise Colorimétrica

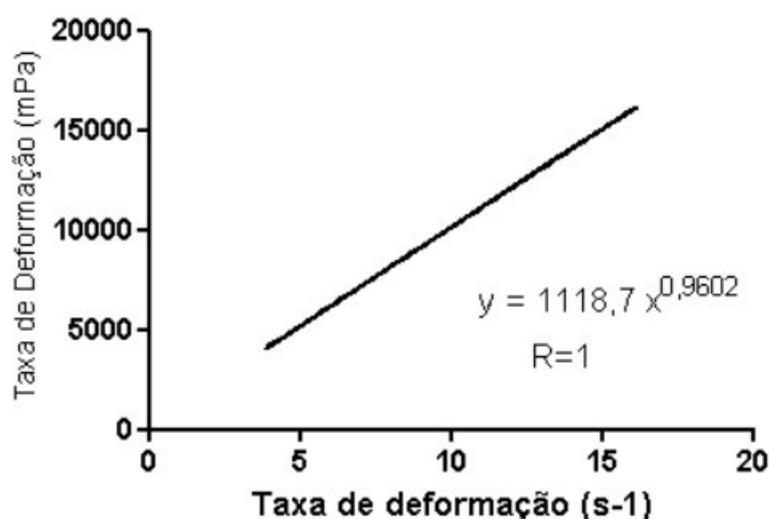
Os parâmetros obtidos da escala Lab foram respectivamente  $21,48 \pm 0,28$ ,  $a = 6,21 \pm 0,22$  e  $b = 4,97 \pm 0,15$ . Como não foram encontrados dados sobre a cor do xarope de yacon na literatura, comparou-se com outros xaropes e com o mel. No trabalho de Surin et al. (2014) o xarope de longan (*Dimocarpus longan*), fruto da mesma família que a lichia, na escala L, a, e b apresentou respectivamente  $27,03 \pm 0,08$ ,  $5,30 \pm 0,02$  e  $3,15 \pm 0,08$ . Dessa forma, o xarope de Yacon é ligeiramente mais escuro, mais avermelhado e mais amarelado. O trabalho de Nascimento (2016) com méis de flor de laranjeira o resultado obtido foi  $L=47,2$ ,  $a=-4,3$  e  $b=18,4$ , sendo o mel mais claro, esverdeado e mais amarelado que o xarope de Yacon porque o valor de b do mel é superior ao do xarope de yacon.

### 6.2.3 Viscosidade

A viscosidade de soluções açucaradas e xaropes é uma propriedade importante para a indústria pois está diretamente relacionada a fluidez do xarope, determinando as condições de estocagem, o projeto de equipamentos, de bombas e das tubulações.

Pelos dados obtidos experimentalmente traçou-se um gráfico apresentado na Figura 4 que relaciona a taxa de deformação em função da tensão de cisalhamento.

Figura 4 - Taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento.



Comparando a equação obtida  $y = 1118,7 \cdot x^{0,9602}$  com equação 2, os valores encontrados para o índice de consistência (K) e índice de comportamento do fluido (n) foram respectivamente 1118,7 mPa.s<sup>n</sup> e 0,9602. Com o valor de n pode-se sugerir que se trata de um fluido pseudoplástico, pois esse valor é menor do que 1. Esses fluidos caracterizam-se pela diminuição na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação.

De acordo com Queiroz, Bezerra e Gasparetto (2000), esse comportamento pode ser explicado pela modificação da estrutura de cadeias longas de moléculas como o FOS. Com o aumento do gradiente de velocidade, essas cadeias tendem a se alinhar paralelamente às linhas de corrente, diminuindo a resistência ao escoamento.

### 6.2.4 Sólidos Solúveis Totais

A concentração encontrada foi de  $73,0 \pm 1,0$  °Brix, segundo a Association of American Feed Control Officials (AAFCCO, 1982) o melado de cana é um subproduto da fabricação ou refinamento de sacarose da cana-de-açúcar o teor de sólidos solúveis totais não

pode ser inferior a 79,5°, nessa mesma lista xaropes de beterraba, amido e de polpa de frutas cítricas devem respectivamente apresentar valores de no mínimo 79,5 °Brix, 73,0 °Brix e 71,00° brix.

No trabalho de de Manrique, Párraga e Hermann (2003) o xarope de Yacon apresentou concentração final de sólidos solúveis de 73,0 °Brix. Com isso, observa-se que é uma característica comum dos xaropes industrializados apresentar concentração de sólidos solúveis totais superior a 70,0 °Brix.

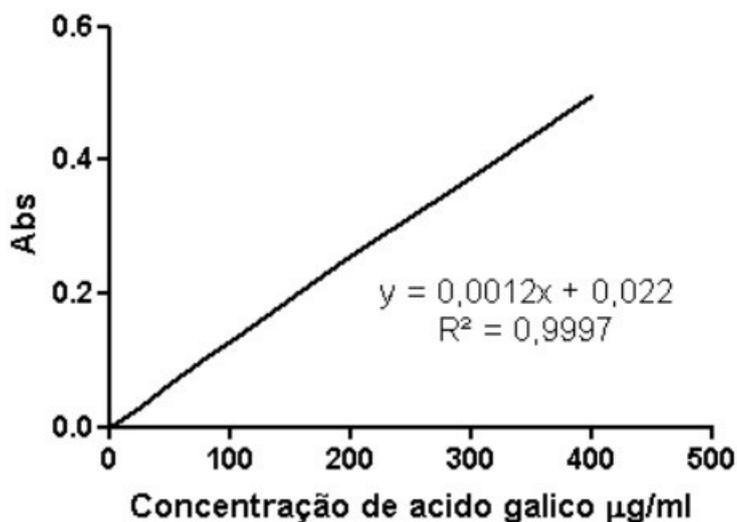
#### **6.2.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH encontrado no xarope de Yacon foi de  $4,77 \pm 0,07$ . Segundo Mellado-Mojica e López (2015) a maioria dos xaropes naturais são ligeiramente ácidos com o pH entre 3,36 e 5,26. Para o mesmo grupo de pesquisa, o pH encontrado para o xarope de agave foi de 3,66. No estudo de Manrique, Párraga e Hermann (2003) o pH médio do xarope de Yacon foi de 5,00. Dessa forma o pH encontrado no xarope de Yacon apresenta valores próximos ao desses estudos.

#### **6.3 Compostos Fenólicos no Xarope**

O valor obtido nesse estudo foi de  $8,621 \pm 0,89$  expressos em concentração equivalente de ácido gálico ( $\mu\text{gGAE} \cdot \text{mL}^{-1}$ ). Para esse cálculo fez se uso da equação da reta, obtido pela curva padrão de ácido gálico, mostrada na Figura 5. Para Zheng e Wang (2001) compostos fenólicos apresentam atividade antioxidante principalmente devido às suas propriedades de óxido-redução, as quais podem desempenhar um importante papel na absorção e neutralização de radicais livres, quelando o oxigênio triplete e singlete ou decompondo peróxidos. Para Campos et al. (2012) o Yacon *in natura* tem em sua composição compostos com propriedade antioxidantes, tais como ácido clorogênico, ácido caféico e seus ésteres e o triptofano.

Figura 5 - Curva padrão do ácido gálico, no eixo das abcissas está a concentração de ácido gálico em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  e no eixo das coordenadas a absorbância.



No estudo realizado por Puoci et al. (2011) com xarope de figo, a concentração encontrada de compostos fenólicos foi de  $3,92 \mu\text{gEAG mL}^{-1}$ . Para o estudo de méis no trabalho de Nascimento (2016) o valor médio encontrado foi de  $6,67 \pm 2,36 \mu\text{gEAG mL}^{-1}$  para o mel de eucalipto,  $11,48 \pm 0,01 \mu\text{gGAE mL}^{-1}$  para o mel silvestre. O trabalho de Kuskoski et al. (2005) apresentou a concentração de compostos fenólicos em polpas de frutas congeladas para a amora ( $118,9 \text{ mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), morango ( $132,1 \text{ mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e uva ( $117,1 \text{ mgEAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) essas frutas são amplamente reconhecidas por serem fontes de compostos fenólicos e antioxidantes.

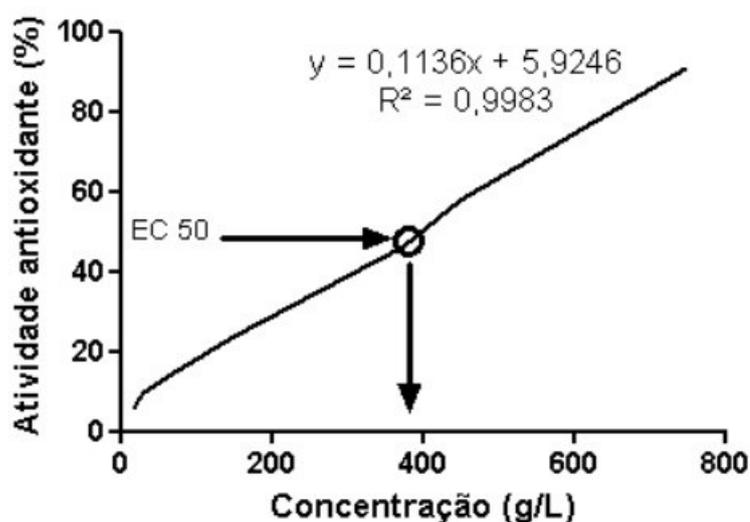
Como apresentado pelo trabalho de Lachman et al. (2007) as raízes do Yacon *in natura* contêm 5 a 15 mg EAG  $\text{g}^{-1}$ , assim a exposição prolongada ao tratamtermico causou uma redução de aproximadamente 30 % da concentração inicial de compostos fenólicos. Isso é justificado já que, esses compostos são termicamente sensível.

#### 6.4 Atividade Antioxidante do Xarope

A medida da atividade antioxidante foi realizada diretamente no xarope, sem nenhuma diluição prévia. Na presença de antioxidantes, o radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) recebe um hidrogênio, ou elétron, tornando-se um composto mais estável e, assim, diminuindo sua absorbância. A reação pode ser observada visualmente pela descoloração da solução de DPPH que, inicialmente, apresenta cor roxa. A descoloração foi avaliada através de espectrofotometria.

A atividade antioxidante é expressa em concentração efetiva (EC50), ou seja, a concentração de produto necessária para inibir 50% dos radicais DPPH presentes. Quanto menor este valor, maior a capacidade antioxidante do composto em questão. Pela Figura 6, pode-se identificar o ponto de concentração do EC50, além de verificar a equação da reta da porcentagem de antioxidantes pela concentração em  $\text{g.L}^{-1}$ .

Figura 6 - Atividade antioxidante versus a concentração em  $\text{g L}^{-1}$  de amostra



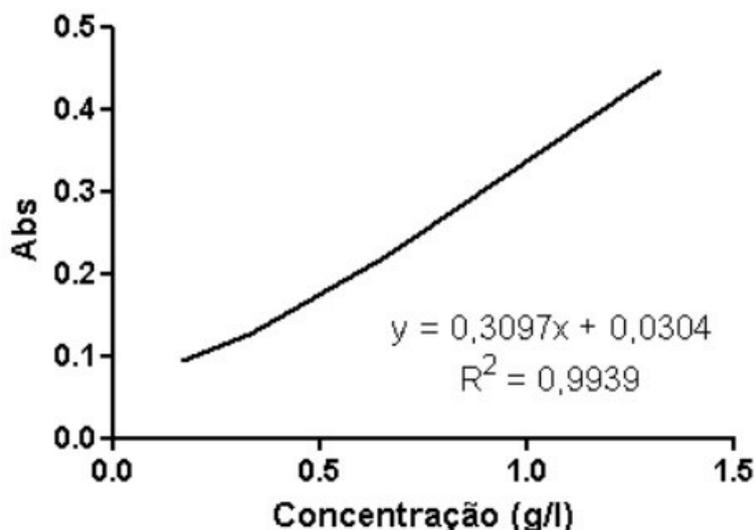
O valor obtido de EC50 foi de  $387,99 \pm 0,02 \text{ g L}^{-1}$ , sendo 10 vezes superior ao encontrado por Vieira et al. (2011) para o bacuri ( $4700,24 \pm 14,12 \text{ g L}^{-1}$ ) e aproximadamente 5 vezes superior ao valor encontrado no tamarindo ( $2193,79 \pm 27,75 \text{ g L}^{-1}$ ). Quando comparado ao estudo de Ferreira et al., (2009) o valor é seis vezes inferior ao mel ( $87,88 \pm 2,9 \text{ g L}^{-1}$ ), quando comparado com o Yacon *in natura* do estudo de Pereira et al. (2016) a concentração é cinco vezes inferior ( $187,2679 \pm 13,21 \text{ g L}^{-1}$ ).

Segundo (HORVÁTHOVÁ et al., 2007) o efeito da exposição de determinado produto com alegação antioxidante a elevadas temperaturas por longos períodos de tempo causam redução significativa do efeito antioxidante. Isso explica porque o xarope apresenta menor concentração do EC50 do que o tubérculo *in natura*.

### 6.5 Quantificação de Carboidratos por meio Enzimático-Colorimétrico (Trinder)

A equação da concentração de glicose em uma solução foi obtida pelo gráfico da absorvância *versus* a concentração da solução padrão de glicose é apresentado na Figura 5.

Figura 7 – Absorbância versus a concentração da solução padrão de glicose



Para a solução do xarope de Yacon na concentração de  $3,382 \text{ g L}^{-1}$  a absorvância média encontrada foi de  $0,166 \pm 0,02$ , substituindo esse valor na equação ( $y = 0,3097x + 0,0304$ ), onde o y é a absorvância e x a concentração de glicose, a concentração de glicose presente no xarope é de  $0,438 \pm 0,02$  em  $3,382 \text{ g L}^{-1}$ . Dessa forma, a glicose representa 13,0 % dos carboidratos.

Para a solução do xarope hidrolizado de Yacon na concentração de  $3,077 \text{ g L}^{-1}$  a absorvância média encontrada foi de  $0,167 \pm 0,01$ . Pela equação acima citada a concentração de glicose no xarope hidrolizado foi de  $0,440 \pm 0,01$  em  $3,077 \text{ g L}^{-1}$ . A percentagem de glicose no xarope hidrolizado é de 14,3 %. Com a porcentagem de glicose no xarope hidrolizado diminui-se o valor de 100 % e com isso calcula-se a porcentagem de frutose, esse valor de frutose considera a hidrólise total da inulina presente no xarope hidrolizado e a frutose livre, o valor encontrado foi de 85,7 %.

Com a porcentagem da glicose presente no xarope não hidrolizado e com a fração de frutose do xarope hidrolizado substitui-se a concentração da inulina e da frutose na equação 3 e dessa forma calcula-se a fração de sacarose do xarope. O valor encontrado foi de 1,35 %.

No estudo, do xarope de yacon, de Manrique, Párraga e Hermann (2003) as composições médias encontradas para os carboidratos, glicose, frutose, inulina e sacarose, foram respectivamente 9,05, 16,65, 29,25 e 16,1.

## 7 CONCLUSÃO

O xarope de Yacon é um alimento natural e de fácil adaptação a diferentes climas e solos, podendo ser amplamente cultivado. Além disso, é um produto que apresenta grande importância alimentar uma vez que é considerado um alimento funcional, por possuir fibras alimentares conhecidas como os frutooligossacarídeos.

Para produção do xarope, o rendimento é de aproximadamente 8 %, o valor é superior ao valor mínimo encontrado na literatura.. As características físico-químicas encontradas foram de  $4,77 \pm 0,07$  para pH, a massa específica encontrada foi de  $1,49 \pm 0,01 \text{ g.mL}^{-1}$ , é um xarope de cor escura, levemente amarelado e avermelhado, isso porque, segundo a escala L, a, b os valores encontrados foram  $L = 21,48 \pm 0,28$   $a = 6,21 \pm 0,22$  e  $b = 4,97 \pm 0,15$ . A concentração de sólidos solúveis foi de  $73 \pm 0,1^\circ \text{Brix}$ . O xarope apresentou o comportamento reológico de fluido pseudoplástico, pois a viscosidade aparente diminuía quando a taxa de deformação aumentava. A concentração de fenólicos encontrada foi de  $8,621 \pm 0,89 \mu\text{gGAE mL}^{-1}$ . A concentração encontrada da atividade antioxidante foi de  $387,99 \pm 0,02 \text{ g.L}^{-1}$  expressa em termos de EC50. A concentração de glicose encontrada foi de 12,95 %, de frutose e inulina de 85,7 % e da sacarose de 1,35 %.

Como perspectivas futuras sugere-se analisar a concentração individual dos carboidratos, proteínas, umidade, lipídeos, minerais e calcular o conteúdo calórico do xarope. É de interesse também avaliar a atividade microbiológica, tempo de estabilidade dos frutooligossacarídeos no xarope e um estudo sensorial antes da produção em maior escala.

## REFERÊNCIAS

AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS). AACC report: the definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, v. 46, p. 112 -129, 2001.

ABRAMS, S. A.; I. GRIFFIN, J.; HAWTHORNE, K. M.; LIANG, L.; GUNN, S. K.; DARLINGTON, G.; ELLIS, K. J. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 82, n. 2, p. 471-476. 2005.

Association of American Feed Control Officials. 1982. Official publication, AAFCO. C.R. Spooner, Department of Agriculture. Atlanta, GA.

ALBUQUERQUE, E.N.; ROLIM, P.M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes Mellitus. *Revista Ciências Médicas*, v.20, n.3-4, p.99-108, 2011.

ANDLAUER, W.; FÜRST, P. Nutraceuticals: a piece of history, present status and outlook. *Food Research International*. v. 35, p. 171-176, 2002.

AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC International. 16th ed. Gaithersburg: 1997.

ARSLANOGLU, S.; MORO, G. E.; SCHMITT, J.; TANDOI, L.; RIZZARDI, S.; BOEHM, G. Early dietary intervention with a mixture of prebiotic oligosaccharides reduces the incidence of allergic manifestations and infections during the first two years of life. *Journal of Nutrition*, v. 138, p. 1091-1095, 2008.

ARSLANOGLU, S.; MORO, G.; BOEHM G. Early supplementation of prebiotic oligosaccharides protects formula-fed infants against infections during the first. *Journal of Nutrition*, v.137, p. 2420-2424, 2007.

AYBAR, M.J. et al. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacol*, v.74, n.2, p.33-37, 2001.

BENGMARK, S. Colonic food: pre- and probiotics. *The American Journal of Gastroenterology*, Oxford, v. 95, n. 1, p. 5-7, 2000

BIEDRZYCKA, E.; BIELECKA, M. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. *Trends in Food Science & Technology*, v. 15, p. 170-175, 2004.

BORGES, J. T. S. et al. **YACON NA ALIMENTAÇÃO HUMANA: ASPECTOS NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS, UTILIZAÇÃO E TOXICIDADE**. 2012. Disponível em: <<http://www.scientia.ufam.edu.br/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

BONUCCOLI, F.R. *Plantas alimenticias en el antiguo Peru*. Lima, Peru, 1989. 175 p.

BRASIL. Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº12, de 2001. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Diário Oficial da União, 10 jan. 2001.

BRASIL. Resolução ANVISA/MS N°. 271. **Regulamento Técnico para Açúcares e Produtos para Adoçar**. Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.

BÚRIGO, T.; FAGUNDES, R. L. M.; TRINDADE, E. B. S. M.; VASCONCELOS, H. C. F. F. Efeito bifidogênico do fruto-oligossacarídeo na microbiota intestinal de pacientes com neoplasia hematológica. *Revista de Nutrição*, v. 20, n. 5, p. 491-497, 2007

BURITI, F.C.A.; CASTRO, I.A.; SAAD, S. M.I. Viability of *Lactobacillus acidophilus* in symbiotic guava mousses and its survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Food Microbiology*, v. 137, p. 121-129, 2010.

CALDER, P.C.; KEW, S. The immune system: a target for functional foods? *Brazilian Journal Nutrition*, v. 88, p. 165-176, 2002.

CARABIN, I. G.; FLAMM, W. G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, San Diego, v. 30, p. 268-82, 1999.

CHEN, R. M.; WU, J. J.; LEE, S. C.; HUANG, A. H.; WU, H. M. Increase of intestinal *Bifidobacterium* and suppression of coliform bacteria with short-term yogurt ingestion. *Journal Dairy Science*, v. 82, p. 2308–2314, 1999.

CORRÊA, C. M.; OLIVEIRA, G. N.; ASTARITA, L. V.; SANTARÉM, E. R. Plant regeneration through somatic embryogenesis of yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. and Endl.) H. Robinson]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, n. 3, p. 549-558, 2009.

COUDRAY, C.; BELLANGER, J.; CASTIGLIA-DELAUVAUD, C.; RÉMÉSY, C.; VERMOREL, M.; RAYSSIGNUIER, Y. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal Clinical Nutrition*, v. 51, n. 6, p. 375-80, 1997

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's: Food Chemistry**. 4. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2008.

DAVIDSON, M. H.; DUGAN, L. D.; STOCKI, J.; DICKLIN, M. R.; MAKI, K. C.; COLETTA, F.; COTTER, R.; MCLEOD, M.; HOERSTEN, K. A Low-viscosity soluble-fiber fruit juice supplement fails to lower cholesterol in hypercholesterolemic men and women. *Journal of Nutrition*, v. 128, n. 11, p. 1927-1932, 1998

ESPIRITO SANTO, F. R. C.; FLOSS, P. A., BECKER, J. Tecnologias para o cultivo de yacon (*Polymnia sonchifolia*) Poepp. e Endl. na região de Chapecó – SC. In: IV Jornada Catarinense de Plantas Mediciniais, Anais..., Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI e Associação Catarinense de Plantas Mediciniais – ACPM. 2003.

FARMACOPÉIA Brasileira. 4. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1988.

FERNANDES, Antônio C. Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância. 2002. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

FERREIRA, I. C. F. R.; AIRES, E.; BARREIRA, J. C. M.; ESTEVINHO, L. M. Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract. *Food Chemistry*, v. 114, p. 1438–1443, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>>. Acesso em: 21 fev. 2011.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (USA). **Bacteriological Analytical Manual: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria**, 2002. Disponível em: <<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>>. Acesso em 20 maio 2017.

GENTA, S.; CABRERA, W.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. *Clinical Nutrition*, v. 28, n. 2, p. 182–187, 2009.

GIBSON, G. R.; FULLER, R. Aspects of in vitro and in vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. *Journal of Nutrition*, v. 130, p. 391-395, 2000.

GRAU, A; REA, J. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) (Poepp. *Wendell.*) H. Robinson. In: Hermann, M.; Heller, J. (eds) *Andean roots and tubers: ahupa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized crops*. Rome, International Plant Genetic Resources Institute. p.199-242, 1997.

GUARNER, F.; MALAGELADA, J.R. Gut flora in health and disease. *Lancet*, v. 360, p. 512-518, 2003.

HATA, Y., HARA, T., OIKAWA, T., YAMAMOTO, M., HIROSE, N., NAGASHIMA, T., ORIHAMA, N., NAKAHIMA, K., WATABE, A., YAMASHITA, M. The effects of oligofructans (Neosugar) on hiperlipemia. *Geriat.Med.* v.21, p.156-7, 1983

HERMANN, M.; FREIRE, I. Compositional diversity of the yacon storage root. In: **Impact on a changing world**. Lima: Centro Internacional de la Papa, 1998. p.199-242.

HIDAKA, H., EIDA, T., AACHI, T., SAITO, Y. Industrial production of fructooligosaccharides and its application for human and animals. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*. v.61, p.915-23, 1987.

HORVÁTHOVÁ, Jana; SUHAJ, Milan; HMKO, Peter. Effect of thermal treatment and storage on antioxidant activity of some spices. **Journal Of Food And Nutrition Research**, Bratislava, v. 46, n. 1, p.20-27, 2007.

HUNGENHOLTZ, J.; SMID, E. J. Nutraceutical production with food-grade microorganisms. *Current Opinion in Biotechnology*. v. 13, p. 497-507, 2002.

ISEJIMA, E.M. Yacón como fonte de frutanos. In: WORKSHOP DE YACÓN, 1, 1997, Botucatu. Anais... Botucatu: Sociedade Botânica de São Paulo, 1997

Kakihara T.S., Câmara F.L.A., Vilhena S.M.S. (1997): Cultivation and processing of yacon: A Brazilian experience. 1st Yacon Workshop, Botucatu (SP), Brazil. (In Portugal).

KOLIDA, S.; GIBSON, G.R.; Symbiotics in health and disease. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 2, p. 373-393, 2011.

KOPP-HOOLIHAN, L. Prophylactic and therapeutic uses of probiotics: a review. *Journal of the American Dietetic Association*, v. 101, p. 229-241, 2001

KORTSARZ, A.; GRAU, A. Yacón: monografía. *Fitocien. Rev.*, v. 3, p. 21-24, 2000.

KOSARIC, M.; COSENTINO, G.P.; WEICZOREK, A. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*, v.5, n., p.1-36, 1984.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 4. p. 726-732, out./dez. 2005.

LACHAN, L. et al. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant soil environment**, Czech Republic, v.50, n.9, p.383-390, 2004.

MENSOR, L. L.; MENEZES, F. S.; LEITÃO, G. G.; REIS, A. S.; SANTOS, T. C.; COUBE, C. S.; LEITÃO, S. G. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy Research**, v. 15, p. 127-130, 2001.

KANASHIRO, R. S.; FERRARO, R. G.; POLTRONIERI, F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): importância funcional. *Nutrição em Pauta*, São Paulo: Núcleo Consultoria Com. e Rep, v. 16, n. 92, p. 9-12, 2008.

KANEKO T.; KUDO T.; HORIKOSHI K. Comparison of CD composition produced by chimeric CGTases. *Agric Biol Chem.* 1990; 54(1):197-01.

LIZARRAGA, L.; ORTEGA, R.; VARGAS, W.; VIDAL, A. Cultivo del yacon. Centro Regional de Recursos Genéticos de tuberosas y raíces, Cusco, Peru. Informe técnico, 1997.

MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 57, n. 4, p. 387-396, 2007.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN M. YACON syrup: Principles and processing. **Series:** Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No. **8B**. International Potato Center, Universidad.

MELLADO-MOJICA, Erika; LÓPEZ, Mercedes G.. Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 167, p.349-357, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.111>.

MENSOR, L. L.; MENEZES, F. S.; LEITÃO, G. G.; REIS, A. S.; SANTOS, T. C.; COUBE, C. S.; LEITÃO, S. G. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy Research**, v. 15, p. 127-130, 2001.

MORAES, M. A. C. Métodos para avaliação sensorial dos alimentos. 6. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1988. 93 p.

MOSCATTO, J. A.; PRUDENCIO-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**, v. 24, n. 4, p. 634-640, 2004.

Nacional Daniel Alcides Carrión, Erbacher Foundation, Swiss Agency for Development and Cooperation. 2005. Lima, Peru. 31 p.

NASCIMENTO, Kelly Souza. **Compostos fenólicos, capacidade antioxidante e propriedades físico-químicas de méis de *Apis Millifera* do Estado do Rio Grande do Sul.** 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Farmácia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

NAZZARO, F. et al. Biochemical Traits, Survival and Biological Properties of the probiotic *Lactobacillus plantarum* grown in the presence of prebiotic inulin and pectin as energy source. *Pharmaceuticals*, v. 5, p. 481-492, 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger: Principles of Biochemistry**. 6. ed. New York: W. H. Freeman And Company, 2013.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). Tabela brasileira de composição de alimentos. Ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

NRC, 1989. Nutrient requirements of horses. National Research Council. Subcommittee on Horse Nutrition, National Academies, USA.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends In Food Science & Technology**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.40-46, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.005>

OLIVEIRA, M. A.; NISHIMOTO, E. K. Avaliação do Desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 7, n. 2, p. 215-220, 2004.

OLIVEIRA, M.N. Tecnologia de produtos lácteos funcionais. São Paulo: Atheneu, 2009. 384p.

PEREIRA, Juciane Abreu Ribeiro et al. Total antioxidant activity of yacon tubers cultivated in Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 40, n. 5, p.596-605, out. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

PINTO, T. J. A.; KANEKO, T. M.; OHARA, M. T. Controle Biológico da Qualidade de Produtos Farmacêuticos, Correlatos e Cosméticos. São Paulo: Atheneu, 2000, p. 53 – 95.

PRATI, P.; BERBARI, S. A. G.; PACHECO; M. T. B. SILVA, M. G.; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geleia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. *Brazilian Journal Food Technology*, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.

PODADERA, Priscilla. **Estudo das Propriedades do Açúcar Líquido Invertido Processado com Radiação Gama e Feixe de Elétrons**. 2007. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências na área de Tecnologia Nuclear, Usp, São Paulo, 2007.

Puoci, F.; Iemma, F.; Spizzirri, U.G.; Restuccia, D.; Pezzi, V.; Sirianni, R.; Manganaro, L.; Curcio, M.; Parisi, O.I.; Cirillo, G.; Picci, N. Antioxidant Activity of a Mediterranean Food Product: “Fig Syrup”. *Nutrients* **2011**, 3, 317-329.

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

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; EVANS, C. R. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26(9-10), p. 1231-1237, 1999.

RIBEIRO, Janmylla Gomes et al. FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE MÉIS DE ABELHA DE DIFERENTES FLORADAS. **Nutritime**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.3903-3909, fev. 2015.

RIBEIRO, R. C. L. F. Distribuição, aspectos estruturais e funcionais dos frutanos, com ênfase em plantas herbáceas do cerrado. *Revis. Bras. Fisiol. Vegetal*, v. 5, n.2, p. 203-208,1993.

RIBEIRO, J.A.R. Estudo químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) *in natura* e processado e influência do consumo de yacon sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos. 2008. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2008.

RIZELIO, V. M.; TENFEN, L.; SILVEIRA, R; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Development of a fast capillary electrophoresis method for determination of carbohydrates in honey samples. **Talanta**, [s.l.], v. 93, p.62-66, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2012.01.034>.

ROBERFROID, M. B. Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, v. 129, p. 1398-1401, 1999.

ROBERFROID, M.B. Introducing Inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*. 2005; 93: S13-S25.

ROKKA, S., RANTAMÄKI, P. Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: challenges for industrial applications. *European Food Research Technology*, v. 231, p. 1–12, 2010.

RUFINO MSM, ALVES RE, BRITO ES, MORAIS SM, SAMPAIO CG, JIMENEZ JP, CALIXTO FDS. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. *Comunicado Técnico Embrapa*, 127: 1-4, 2007.

SALMINEN, S.; KENIFEL, W.; OUWEHAND, A. C. Probiotics, Applications in Dairy Products. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*, FUQUAY, J. W.; FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. (eds.), Second Edition, vol. 1, San Diego: Academic Press, 2011. pp. 503-511.

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

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

SILVA, A.S.S. A raiz da yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência na glicemia pós-prandial. 2007. 158f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SIMONOVSKA, B.; VOVK, I.; ANDRENSEK, S.; VALENTOVA, K.; ULRICHOVA, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. *Journal of Chromatography A*, v. 1016, n. 1, p. 89-98, 2003.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. ***American Journal of Enology and Viticulture***, v. 16, p. 144-158, 1965.

Star Color. CIE Lab *Color System*. Disponível em < <http://www.starcolor.co.th/1qc.html>> Acesso em: 20 jun. 2017.

SURIN, Siriluck et al. Effect of extraction and concentration processes on properties of longan syrup. ***Journal Of Food Science And Technology***, [s.l.], v. 51, n. 9, p.2062-2069, 23 jan. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-013-1249-7>.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, n. 3, p. 793-796, 2003.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. Análise sensorial de alimentos. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987. 180 p.

TERRAVIVA 2671, 26/01/2007. Terra Viva Consultoria Empresarial. Brasília. Disponível em:<<http://www.terraviva.com.br/terraviva/selectus,,2671.html>>. Acesso em: 04 mar. 2017

VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* - prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers*, v.147, n.2, p.119-130, 2003.

VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B. P.; MARTINO, H. S. D. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.

QUEIROZ, Alexandre José de Melo; BEZERRA, José Raniere Mazile Vidal; GASPARETTO, Carlos Alberto. Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 4, n. 1, p.75-79, abr. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662000000100014>.

VIEIRA, N. M. Desenvolvimento de bebidas mistas de frutas tropicais e yacon como fonte de oligossacarídeos prebióticos. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VIEIRA, Luanne Morais et al. FENÓLICOS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE IN VITRO DE POLPAS DE FRUTOS TROPICAIS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p.888-897, set. 2011.

VILHENA, S.M.C. **Ciclo de cultivo e técnicas pós-colheita de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.) em função do conteúdo de frutose total nos órgãos subterrâneos**. 2001. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

VILHENA, S.M.C. et al. O cultivo do yacon no Brasil. *Horticultura Brasileira*, v.18, p.5-8, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/hb/v18n1/v18n1a\\_02.pdf](http://www.scielo.br/pdf/hb/v18n1/v18n1a_02.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

WARTMAN, Anna M.; SPAWN, Terence D.; ELIASON, Morton A.. Relationship between density, temperature and dry substance of commercial corn syrups, high-fructose corn syrups, and blends with sucrose and invert sugar. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.971-974, set. 1984. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf00125a003>.

WHO - World Health Organization. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. World Health Organization, Geneva. Disponível em <[http://whqlibdoc.who.int/trs/who\\_trs\\_916.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_916.pdf)>. Acesso em: jun. 2017.

ZARDINI, E. Ethnobotanical notes on "yacon" *Polymnia sonchifolia* (Astecaceae). *Economic Botany*, v. 45, p. 72-85, 1991.

ZHENG, W.; WANG, S.Y. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *J. Agric. Food Chemistry*. Chicago: v.49, p. 5165-5170, 2001.