



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

ADERLEY SERENITA SARTORI DA SILVA

**A RAIZ DA YACON (*Smallanthus sonchifollius* Poepping & Endlicher) COMO FONTE
DE FIBRAS ALIMENTARES, SUA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, USO
NA PANIFICAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA GLICEMIA PÓS-PRANDIAL.**

Tese de Doutorado

**Florianópolis - SC
2007**

ADERLEY SERENITA SARTORI DA SILVA

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.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do grau de Doutor em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof(a). Dra. Alícia de Francisco
Co-orientador: Prof. Dr. Ruben Abreu Machado

Florianópolis - SC
2007

Da SILVA, Aderley Serenita Sartori.

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./ Aderley Serenita Sartori da Silva. - Florianópolis, SC: [s.n.], 2007.

Orientadores: Doutora Alícia de Francisco (UFSC); Doutor Rubem Abreu Machado (UFSC).

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

1.Yacon. 2.Panificação. 3.Alimentos funcionais 4.Índice Glicêmico. 3.Carboidratos.
I. Da Silva, Aderley Serenita Sartori. II. Universidade Federal de Santa Catarina. III.
Título.

A RAIZ DA YACON (*Smallanthus sonchifollius* Poepping & Endlicher) COMO FONTE DE FIBRAS ALIMENTARES, SUA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, USO NA PANIFICAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA GLICEMIA PÓS-PRANDIAL.

Por

Aderley Serenita Sartori da Silva

Tese aprovada como requisito final para a obtenção do título de Doutora no Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos pela Comissão formada por:

Presidente: _____
Prof. Dra. Alicia de Francisco (orientadora)

Membro: _____
Prof. Dra. Ana Maria da Silva

Membro: _____
Prof. Dra. Janaína das Neves

Membro: _____
Prof. Dra. Jussara Gazzola

Membro: _____
Prof. Dra. Rosane Costa Beber

Suplente: _____
Prof. Dr. César Damian

Coordenador: _____
Prof. Dra. Marilde Bordignon Luís

Florianópolis - SC
2007

Dedico esta tese à

minha grande MESTRA, mãe.

Há saudades dos seus ensinamentos, dos papos jogados fora, das brincadeiras, das risadas, dos almoços no fim de semana, dos passeios, do teu colo, de deitar aos teus pés, de não precisar dizer uma só palavra e receber o consolo certo, do teu conselho, da tua força. Sem o teu incentivo, eu não teria terminado.

Estás com Deus.

AGRADECIMENTOS

Alegrias, tristezas, dissabores, surpresas, cansaço, medo e incertezas. Muitos foram os momentos nesta jornada, mas uma certeza permaneceu: Deus sempre esteve ao meu lado.

Ninguém cresce sozinho, sempre é preciso um olhar de apoio, uma palavra de incentivo, um gesto de compreensão, uma atitude de amor. Portanto, a todos vocês, Letícia, Caroline, Roberta, Malú, Alex, Rosane, Josiane, Cecília, Manoela, Sandra, Sônia, Giovanna, Marivone, Tatiana, Karine, Simone, Marcelo, minhas irmãs, enfim, a todos vocês que compartilharam dos meus ideais e que estão tão felizes quanto eu, com o final de mais esta etapa, o meu muitíssimo obrigada.

A Patrícia, que esteve ao meu lado nas horas que chorei e nas horas que sorri, nas horas que me lamentei e nas horas e que de uma forma ou de outra demonstrei total alegria...Hoje quero agradecer, porque você fez, faz e fará sempre parte de minha história!

Aos que amo de todo o meu coração, Wagner e Bruna, sim, vocês me amaram o suficiente para tolerar minhas ausências, encorajar e aplaudir esta vitória: portanto, a vocês, a minha mais profunda gratidão e respeito.

Em especial, agradeço aos professores doutores Rubem e Alícia, pela oportunidade que me concederam, pela paciência com que me conduziram, pelos ensinamentos e conhecimentos que comigo foram compartilhados.

A coordenadoria e secretaria do Curso e aos professores, que disponibilizaram seus laboratórios e seus conhecimentos: Jane, Cleide, Evanilda, Renata e Pedro, despertando a minha admiração e dando-me exemplos a seguir.

À CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

“Não existe o esquecimento total; as
pegadas impressas na alma são
indestrutíveis”.
(Thomas de Quincey)

DA SILVA, Aderley Serenita Sartori. **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. 167 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

RESUMO

A *Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher também é conhecida como yacon. Suas raízes tuberosas armazenam frutoligossacarídeos, diferentemente de outras raízes, que armazenam amido. Os frutoligossacarídeos são considerados fibras alimentares e já são amplamente utilizados na indústria alimentícia como substituto da gordura, para aumento da retenção de água e como emulsificante ou modificadores da textura de alguns alimentos. A yacon despertou interesse no mercado nacional em vista de seu aspecto atraente, sabor suave e agradável, facilidade de cultivo e, principalmente, por apresentar em sua composição altos teores de fibras alimentares. O capítulo 1 desta tese é uma revisão bibliográfica sobre a raiz, em que pode ser encontrada a descrição da planta yacon e de sua raiz tuberosa. Também se encontram nesse capítulo a definição, a classificação, os tipos, as fontes, as ações fisiológicas das fibras alimentares e, ainda, uma descrição da definição, classificação e importância nutricional dos frutoligossacarídeos. No capítulo 2 apresenta-se a composição centesimal de variedades da yacon cultivadas nas cidades de Urubici, Santo Amaro da Imperatriz, Salete e Blumenau, no estado de Santa Catarina. Os resultados da composição físico-química mostraram que há uma diferença significativa dos teores de nutrientes em relação a diferentes locais de plantio. No capítulo 3 descreve-se o processamento de pães com diferentes quantidades da raiz. Os produtos elaborados foram avaliados sensorialmente e tiveram sua composição química determinada. A avaliação sensorial mostrou que os pães elaborados com a adição da yacon foram bem aceitos pelos consumidores em potencial. A formulação preferida pelos julgadores foi a com maior percentual de yacon. As análises de cor, de textura e de porosidade por imagem mostraram que adições de diferentes quantidades da yacon não interferiram na qualidade do produto final. No quarto capítulo descreve-se a determinação da resposta glicêmica em mulheres saudáveis após o consumo de yacon *in natura* e desidratada e do pão integral com 25% de adição de yacon, em comparação ao pão branco. Os índices glicêmicos da raiz de yacon *in natura* e desidratada foram classificados como de baixo índice glicêmico, o que não aconteceu com o pão de yacon, que apresentou um índice médio. Dos resultados obtidos, foi possível concluir que a yacon é um ingrediente alimentício de boa qualidade, podendo ser usado em pães sem alteração da qualidade do produto final. O baixo índice glicêmico encontrado para a yacon confirma a possibilidade de seu uso por diabéticos. Encerra-se o trabalho com a conclusão, as referências bibliográficas.

Palavras-chave: Yacon. Frutanos. Pão. Reologia. Análise sensorial. Alimentos funcionais. Índice glicêmico.

DA SILVA, Aderley Serenita Sartori. **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. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ABSTRACT

The *Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher is also known as yacon. Its tubers roots stores fructooligosaccharides (FOS), in contrast to the other roots that store starch. FOS are considered alimentary staple fibres that are already widely used in the nourishing industry as fat replacer, for increase of water retention and as emulsifier or modifier of some food's texture. Yacon has suscitated interest in the national market sight of its attractive aspect, soft and pleasant flavor, easiness of culture and mainly for presenting in its composition high alimentary staple fibre content. Chapter 01 is a review on the yacon, where a description of the yacon plant and its tubers root can be found. This chapter also discusses definition, classification, types, sources and physiological of alimentary affects fibres and still brings a description of FOS definition, classification and nutritional importance. The chapter 02 present the centesimal composition of cultivated yacon varieties of locations the cities of Urubici, Santo Amaro da Imperatriz, Salete and Blumenau – State of Santa Catarina. Physicochemical analysis had shown a significant difference in the nutrients contents when yacon was cultivated in different. The aim of chapter 03 was to evaluate sensory aspects and chemical composition of bread processed with different amounts of yacon. Sensory evaluation showed that the breads elaborated with adition of yacon were accepted by potential consumers. Formulation with higher amount of yacon was preferred by the judges. The color, texture and porosity for image analysis did not show influence of different amounts of yacon on the the final product is quality. Chapter 04 describes the glicemic response in healthful women after consumption of yacon *in natura*, dehydrated and whole bread with 25% of yacon, in comparation to the white bread. In natura and dehydrated yacon had low glicemic index while yacon bread had a moderated index. It was been concluded that yacon is a good quality nourishing ingredient that can be used in breads, without changes in the quality of the final product. The low glicemic index for yacon confirms the possibility of its use by diabetic patients. At last conclusion, references can be seen.

Key-Words: Yacon. Fructanos. Bread. Rheology. Sensorial analysis. Functional foods. Glicemic index.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Distribuição geográfica do plantio da yacon na América do Sul (mapa da América do Sul , adaptado)	25
Figura 2. Regiões de cultivo da yacon no estado de Santa Catarina	25
Figura 3. As raízes da yacon.....	27
Figura 4. Diferentes formatos e tamanhos.....	28
Figura 5. A cor da raiz da yacon.....	28
Figura 6. A folha e a flor da yacon.....	31
Figura 7. Classificação dos frutanos segundo a estrutura química.....	52
Figura 8. Representação gráfica dos parâmetros de textura	69

Capítulo 2

Figura 1. Raízes de yacon, cultivar amarelo.....	94
--	----

Capítulo 3

Figura 1. Fluxograma de processamento dos pães integrais com yacon.....	106
Figura 2. Ficha de avaliação para a aceitabilidade 01.....	108
Figura 3. Ficha de avaliação para a aceitabilidade 02.....	108
Figura 4. Distribuição da colorimetria segundo a forma de preparo	118
Figura 5. Distribuição da colorimetria segundo o local.....	119
Figura 6. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y1 (15% de yacon).....	128
Figura 7. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y2 (20% de yacon).....	128
Figura 8. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y3 (25% de yacon).....	128
Figura 9. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão C4 (sem yacon) - Controle	129

Capítulo 4

Figura 1.	Amostras da yacon <i>in natura</i> e desidratadas oferecidas aos pacientes (reserva pessoal).	139
Figura 2.	Amostras de pão da yacon oferecidas aos pacientes (reserva pessoal)	139
Figura 3.	Representação gráfica de curva glicêmica. Dimensionamento para o cálculo da área sob a curva – regra trapezóide.	141

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Conteúdo médio de carotenóides e valor de vitamina A na raiz da yacon	33
Tabela 2. Composição química da raiz da yacon	35
Tabela 3. Conteúdo médio de carboidratos da raiz de yacon (%)	36
Tabela 4. Resumo das principais funções e localização das fibras nas plantas.....	42
Tabela 5. Classificação, tipos, fontes e ações das fibras solúveis e insolúveis.	45
Tabela 6. Parâmetros de textura e técnicas sensoriais correspondentes.	69

Capítulo 2

Tabela 1. Peso total das raízes de yacon provenientes de três regiões distintas do estado de Santa Catarina.....	93
Tabela 2. Caracterização das raízes de yacon (base úmida), cultivadas em regiões distintas do estado de Santa Catarina.	95
Tabela 3. Caracterização das raízes de yacon (base seca), cultivadas em regiões distintas do estado de Santa Catarina.	95
Tabela 4. Resultados da ANOVA da análise relativa à quantidade de fibras alimentares nas raízes de yacon (base úmida e base seca), classificadas por regiões do estado de Santa Catarina, Brasil.	97
Tabela 5. Caracterização química da yacon em base seca (dados da literatura).	98
Tabela 6. Caracterização química da yacon em base úmida (dados da literatura).	99

Capítulo 3

Tabela 1. Formulações utilizadas para o teste experimental de panificação.....	106
Tabela 2. Composição físico-química de pães integrais com adição de diferentes quantidades de yacon.....	112
Tabela 3. Teores de carboidratos e valores calóricos totais e por porção de pão integral com adição de diferentes quantidades de yacon.....	112
Tabela 4. Composição centesimal dos pães de forma tradicional (FT), forma <i>light</i> (FL), francês tradicional (FR) e pão com yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>) (Y3), por 100 g de produto, conforme estudo experimental, em base úmida (n = 3 para cada amostra).	114
Tabela 5. Composição centesimal dos pães de centeio integral (CI), centeio integral <i>light</i> (CL) e trigo integral caseiro (TI), por 100 g de produto, conforme estudo experimental, em base úmida (n = 3 para cada amostra).	114
Tabela 6. Resultados da ANOVA da análise sensorial.	115

Tabela 7.	Índice de aceitabilidade das formulações com yacon.....	116
Tabela 8.	Resultados da ANOVA da colorimetria para a forma de preparo.....	119
Tabela 9.	Resultados da ANOVA da colorimetria para os locais.	120
Tabela 10.	Avaliação microbiológica das amostras de pães integrais com yacon.	122
Tabela 11.	Resultados da análise do perfil de textura, expressos como média do grupo seguida do erro padrão, dos pães com yacon.	123
Tabela 12.	Avaliação do volume específico para pães integrais com adição de yacon.	126
Tabela 13.	Resultado da quantificação de micropartículas pelo Analisador de Imagens Quantikov.....	127

Capítulo 4

Tabela 1.	Quantidades de alimentos usados para o teste da glicemia.	139
Tabela 2.	Características antropométricas de indivíduos selecionados para o estudo da resposta glicêmica.....	142
Tabela 3.	Composição centesimal (g/100 g) dos alimentos testados.	142
Tabela 4.	Glicemia plasmática de pão branco, yacon <i>in natura</i> (01, 02), yacon desidratada e pão com yacon.....	148
Tabela 5.	Índice glicêmico dos alimentos testados, dados apresentados sobre a média, desvio padrão e coeficiente de variação. Valores de IG em %.....	149
Tabela 6.	Média das áreas glicêmicas para o pão branco, yacon, desidratado da yacon e do pão com yacon.....	153

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1. Taxas de glicose sanguínea após a ingestão de 250 gramas da yacon *in natura* (50 gramas de carboidrato), Região A, na curva de tolerância à glicose. * Significativo para p. 0,05. Os resultados representados são a média \pm SD Os experimentos foram realizados em duplicatas, em relação ao grupo pão branco (50 gramas). N= 09. 142
- Gráfico 2. Efeito do consumo de 250 gramas da yacon *in natura* (50 gramas de carboidrato), cultivada na região C, na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média \pm SD Experimentos realizados em duplicatas. * Significativo para p. 0,05 em relação ao grupo pão branco (50 gramas). N= 09 144
- Gráfico 3. Efeito do consumo de 79 gramas da yacon desidratada (50 gramas de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. 145
- Gráfico 4. Efeito do consumo de 76 gramas de pão com 25% da yacon *in natura* (50 gramas de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média \pm SD os experimentos foram realizados em duplicatas. * Significativo para p. 0,05 em relação ao grupo pão branco (50 gramas). N= 09. 145
- Gráfico 5. Efeito do consumo de 250 gramas da yacon *in natura* (1, 2), 79 gramas de desidratado da yacone 76 gramas de pão com 25% da yacon(50 gramas de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média. * Significativo para p. 0,05 em relação ao grupo pão branco (50 gramas). N= 09. 148
- Gráfico 6. Representação da média do IG para yacon *in natura*, yacon desidratada e pão com yacon comparados como padrão. N = 09. 149

LISTA DE ABREVIATURAS

μg	Micrograma
$^{\circ}\text{Brix}$	Grau brix (sólidos totais)
a^*	Variação de cor do verde para o amarelo
AACC	American Association of Cereal Chemists
AGCC	Ácidos Graxos de Cadeia Curta
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
b^*	Variação de cor do azul para o vermelho
CIASC	Centro de Informática do Estado de Santa Catarina
CLAE	Cromatografia líquida de alta Eficiência
CO_2	Gás carbônico
CV	Coefficiente de Variação
DP	Grau de polimerização
Endl.	Endlicher
FAT	Fibra Alimentar Total
FAI	Fibra alimentar Insolúvel
FAS	Fibra alimentar solúvel
FOS	Frutoligossacarídeos
g.Kgkg^{-1}	Grama por quilogramaquilograma
IAL	Instituto Adolfo Lutz
IDR	Ingestão Diária Recomendada
IG	Índice Glicêmico
L	Luminosidade
LMT	Limite Máximo de Tolerância
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
p	Probabilidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
POD	Peroxidase
Poep.	Poepping
PPO	Polifenoloxidade
r	Nível de correlação
SD	Desvio Padrão
SST	Sólidos Solúveis Totais
t.ha	Tonelada por hectare
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
VC	Valor Diário

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	6
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE GRÁFICOS	14
LISTA DE ABREVIATURAS	15
CAPÍTULO 1 – A RAIZ TUBEROSA DA YACON COMO FONTE DE FIBRAS ALIMENTARES SOLÚVEIS E POSSÍVEL INGREDIENTE PARA FABRICAÇÃO DE PÃES – ASPECTOS GERAIS	19
RESUMO	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 YACON	23
2.1.1 A origem da yacon	23
2.1.2 Nomenclatura.....	26
2.1.3 A planta.....	26
2.1.4 O sistema radicular	27
2.1.5 O cultivo	29
2.1.6 Produtividade	29
2.1.7 Colheita.....	29
2.1.8 Modo de consumo.....	30
2.1.9 As folhas	30
2.1.10 Sistema reprodutivo e de propagação	31
2.1.11 Armazenamento	32
2.1.12 Composição química da yacon	32
2.1.13 Os carboidratos presentes na yacon	36
2.1.14 Processamento da yacon	37
2.2 FIBRAS ALIMENTARES	38
2.2.1 Definição.....	41
2.2.2 Componentes estruturais da parede celular vegetal	42
2.2.3 Estrutura e classificação.....	43
2.2.4 Capacidade de retenção hídrica.....	43
2.2.5 Fibras solúveis	45
2.2.6 Fibras insolúveis	46
2.2.8 Propriedades fisiológicas das fibras alimentares.....	47
2.2.9 Recomendações de consumo	49
2.3 FRUTANOS	50
2.3.1 Definição e ocorrência dos frutanos.....	50
2.3.2 Estrutura química	50
2.4 FRUTOLIGOSSACARÍDEOS	53
2.4.1 Considerações gerais.....	53
2.4.2 Estrutura química	53
2.4.3 Obtenção industrial de frutoligossacarídeos	54
2.4.4 Propriedades químicas e fisico-químicas	54
2.4.5 Benefícios dos frutoligossacarídeos para a saúde humana.....	56
2.4.6 Efeitos dos frutoligossacarídeos como pré-bióticos.....	56
2.4.7 Efeitos na carcinogênese e na resposta imune	57

2.4.8 Efeito no metabolismo dos lipídios.....	58
2.4.9 Efeitos na absorção de minerais.....	58
2.4.10 Outros efeitos dos frutoligosacarídeos	59
2.4.11 Frutoligosacarídeos da yacon e a saúde humana	59
2.4.12 Valor calórico.....	59
2.4.13 Toxicidade	60
2.5 PROCESSAMENTO DE PÃES	61
2.5.1 Principais ingredientes.....	61
2.5.2 Testes para avaliação da qualidade em panificação	66
2.5.2.1 Avaliação sensorial.....	66
2.5.2.2 Colorimetria	66
2.5.2.3 Perfil de textura instrumental	68
2.5.2.4 Processamento e análise de imagens	70
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA YACON <i>IN NATURA</i> DE DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	94
RESUMO	94
1 INTRODUÇÃO	89
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	90
2.1 AMOSTRA	90
2.2 MÉTODOS	90
2.2.1 Características físicas das raízes	90
2.2.2 Composição centesimal	90
2.2.3 Análises estatísticas	91
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA RAIZ DA YACON CULTIVADA NO ESTADO DE SANTA CATARINA	92
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS RAÍZES CULTIVADAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	93
4 CONCLUSÕES	99
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
CAPÍTULO 3 – PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E SENSORIAIS DE PÃES CONFECCIONADOS COM DIFERENTES QUANTIDADES DE YACON.....	101
RESUMO	101
1 INTRODUÇÃO	102
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	104
2.1 MATERIAL	104
2.2 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	104
2.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	106
2.4 AVALIAÇÃO SENSORIAL	106
2.5 ANÁLISE DE COR INSTRUMENTAL.....	108
2.6 MICROBIOLOGIA.....	108
2.7 TESTE DO RENDIMENTO DO PÃO.....	108
2.8 AVALIAÇÃO INSTRUMENTAL DA TEXTURA.....	108
2.9 ANÁLISE DO VOLUME.....	109
2.10 ANÁLISE DE POROSIDADE.....	109

2.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	110
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	111
3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÃES	111
3.2 AVALIAÇÃO SENSORIAL	114
3.3 ANÁLISE DE COR INSTRUMENTAL.....	116
3.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	120
3.5 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL	122
3.7 ANÁLISE DE POROSIDADE ATRAVÉS DE IMAGENS	126
4 CONCLUSÃO	129
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA RESPOSTA GLICÊMICA EM MULHERES SAUDÁVEIS APÓS A INGESTÃO DA YACON <i>IN NATURA</i>, DESIDRATADA E PÃO COM YACON.....	134
RESUMO	134
1 INTRODUÇÃO	135
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	137
2.1 LOCAL	137
2.2 PARTICIPANTES.....	137
2.3 ALIMENTO-REFERÊNCIA.....	137
2.4 ALIMENTO-TESTE.....	137
2.5 VERIFICAÇÃO DA RESPOSTA GLICÊMICA PLASMÁTICA	139
2.5.1 Coleta de dados.....	139
2.5.2 Cálculo da área abaixo da curva.....	139
2.5.3 Cálculo do índice glicêmico.....	140
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	140
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	141
4 CONCLUSÃO	154
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155

CAPÍTULO 1 – A RAIZ TUBEROSA DA YACON COMO FONTE DE FIBRAS ALIMENTARES SOLÚVEIS E POSSÍVEL INGREDIENTE PARA FABRICAÇÃO DE PÃES – ASPECTOS GERAIS

RESUMO

A presente revisão teve por objetivo esclarecer e difundir informações científicas a respeito da importância da yacon (*SMALLANTUS sonchifollius* Poepping & Endlicher H. Robinson) para a Ciência da Nutrição e Tecnologia de Alimentos. A yacon desperta o interesse de pesquisadores no mundo todo, por seus efeitos benéficos para a saúde humana. A raiz de yacon contém na sua maioria água e frutoligossacarídeos, um tipo de frutano de baixa digestibilidade, que fornecem poucas ou quase nenhuma caloria ao organismo. Inúmeros benefícios são atribuídos aos frutoligossacarídeos presentes na yacon como: redução das taxas de colesterol, glicemia e triglicérides sanguíneos, redução no risco do desenvolvimento de câncer de cólon, entre outras. Abordou-se a origem, propriedades e possibilidades de uso tecnológico da yacon. Estudou-se a influência da yacon na nutrição humana. Verificou-se que a yacon é um alimento com propriedades funcionais e que pode ser consumida de forma segura por diabéticos, pois em sua composição há em média 70% de frutoligossacarídeos, o que a torna um alimento promissor.

1 INTRODUÇÃO

Vários fatores têm sido relacionados ao aparecimento de doenças no organismo humano, entre eles a herança familiar, o fumo, o sedentarismo e o estresse, mas pode-se dizer que a alimentação talvez seja um dos fatores mais importantes. O aumento significativo do consumo de refeições rápidas e de lanches tem sido verificado nos últimos anos e revela uma tendência de mudança no estilo de vida da população (VIEIRA, 2001). Isso se deve às facilidades encontradas para a aquisição de alimentos pré-preparados, prontos e congelados no mercado (MATTOS; MARTINS, 2000). Maus hábitos alimentares, como o excessivo consumo de alimentos gordurosos, com alta densidade energética, aliados à redução da prática de exercícios físicos e ao baixo consumo de água e de fibras alimentares, causam à população problemas nutricionais como sobrepeso e obesidade (HILL; TREBRIDGE, 1998).

A importância das fibras alimentares foi reconhecida há mais de duas décadas, após estudos sobre sua química e fisiologia que associavam o consumo de fibras com a prevenção de diversas doenças como constipação, hemorróidas, câncer de cólon, arteriosclerose, entre outras doenças comuns a uma população acostumada com alimentos refinados e pobres em fibras (FAGUNDES; COSTA, 2003). Nas últimas décadas houve um aumento considerável no consumo de alimentos integrais em populações ocidentais, principalmente de grãos (LOBO; SILVA, 2001). A maioria dos trabalhos aponta o grupo de cereais e derivados como sendo a principal fonte de fibras alimentares da dieta (BINGHAM, 1987; VAN STAVEREN et al., 1982).

Em adição a frutas e vegetais, os grãos integrais são importantes fontes de fibras e outros nutrientes, bem como alimentos confeccionados com eles que contenham o farelo, o gérmen e endosperma (USDA, 2005).

Os benefícios bioquímicos e fisiológicos promovidos pelos alimentos funcionais estão sendo estudados mundialmente. Em 1997, o U.S. Food and Drug Administration (FDA) e, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) aprovaram a alegação de alimento funcional para a aveia, segundo a qual um aumento no consumo de aveia, fonte de fibras solúveis, pode reduzir de 10% a 20% do colesterol sérico. Isso foi um marco importante porque estimula as indústrias a produzirem alimentos com esse ingrediente para atender à demanda da população, que tem procurado produtos saudáveis. Muitos cereais podem ser incluídos na lista de ingredientes para produtos integrais, como cevada, centeio integral, trigo integral, milho integral, trigo-sarraceno, arroz integral e selvagem, quinoa, milheto e triticale.

Apesar de a fibra alimentar ser resistente à digestão na boca, no estômago e no intestino delgado do homem, ela possui um valor nutricional específico devido a seu papel em manter a integridade funcional do trato gastrointestinal. Assim, as fibras fermentáveis podem ser degradadas por microrganismos presentes no cólon, gerando ácidos graxos de cadeia curta que são absorvidos e utilizados como fonte de energia (SAURA-CALIXTO, 1993; SCHINEL, 1995).

A divulgação da importância da fibra alimentar junto com a recomendação do incremento de seu consumo tem levado a indústria de alimentos a desenvolver novos produtos e preparados dietéticos enriquecidos com fibras. Uma maior ingestão de fibra alimentar pode ocorrer com o consumo de alimentos de origem vegetal, alimentos processados ou enriquecidos com fibras (SAURA-CALIXTO, 1993). As indústrias de alimentos aproveitam a oportunidade e colocam no mercado diversos alimentos enriquecidos em fibras, visando atender à demanda crescente de indivíduos interessados em resgatar hábitos saudáveis, levando ao questionamento de como se obter a quantidade diária de fibras recomendadas mediante o consumo de alimentos naturais (STELLA, 2004).

Entretanto, ainda é um desafio o desenvolvimento de produtos de reduzido valor calórico, com alto valor nutricional e com características sensoriais iguais ou superiores às dos alimentos processados tradicionalmente (MERMEL, 2004). O papel da indústria alimentícia hoje, diante da grande expectativa por parte dos consumidores, é tornar acessível a todos alimentos que, quando consumidos em pequenas quantidades, tragam benefícios à saúde (COFRADES; JIMÉNEZ-COLMENERO; CARBALLO, 2001).

O desenvolvimento de produtos ricos em fibras alimentares que utilizam a raiz da yacon (*SMALLANTHUS sonchifollius* Poepping & Endlicher H. Robinson) pode ser uma alternativa alimentar, uma vez que, diferentemente da maioria das raízes, que armazenam carboidratos na forma de amido, a yacon e várias plantas da família *Compositae* armazenam carboidratos na forma de frutanos. Os órgãos subterrâneos da yacon contêm de 60% a 70% de frutanos do tipo inulina, com grau de polimerização (DP) máximo de 12 unidades de frutose. Os frutoligosacarídeos (FOS), nos EUA e na Europa, são considerados fibras alimentares (VILHENA; CÂMARA; KADIHARA, 2000).

Em razão disso, o presente trabalho teve como objetivo geral o estudo da raiz da yacon cultivada em algumas regiões de Santa Catarina.

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- a) Reunir informações sobre a yacon;

- b) Subsidiar novos estudos e alternativas de processamento e utilização da raiz da yacon;
- c) Utilizar a raiz da yacon na elaboração de pães integrais ricos em fibras alimentares;
- d) Verificar a influência da adição da yacon em pães integrais;
- e) Caracterizar as raízes da yacon cultivadas no estado de Santa Catarina;
- f) Determinar o tipo de clone cultivado no estado de Santa Catarina;
- g) Avaliar o efeito da adição de diferentes percentuais da yacon em pães integrais sem adição de gorduras e açúcares e avaliar as alterações sobre as propriedades de textura (instrumental e sensorial), físico-químicas, microbiológicas e colorimétricas;
- h) Avaliar o efeito da adição de diferentes percentuais da yacon em pães integrais sem adição de gorduras e açúcares e as alterações sobre as propriedades de porosidade através de análise de imagem; e
- i) Determinar o índice glicêmico da yacon *in natura*, da yacon desidratada e do pão integral com acréscimo de yacon.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Yacon

2.1.1 A origem da yacon

A yacon (*Smallanthus sonchifollius* Poepping & Endlicher) é uma planta originária dos Andes. Seu cultivo é feito principalmente na Colômbia, no Equador, no Peru ou em regiões andinas de elevadas altitudes (UFSC, 2002).

Nos Andes, é comum encontrar plantações da yacon junto com ervas, arbustos, plantações de milho, café e frutas (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

O nome “yacon” deriva da palavra quíchua “yaku”, que significa água, porém essa espécie é conhecida também por outros nomes regionais, como *arboloco* (Colômbia); *aricoma* (Peru e Bolívia); *jícama/chícama* (Venezuela e Colômbia); *yíquima* (Venezuela e Colômbia); *jiquimilla* (Venezuela e Colômbia); *llacon, llagon, llag'on* (Peru, Bolívia e Argentina); *yacón* (Argentina e Paraguai); *yacon strawberry* (Estados Unidos) e *poire de terre* (França) (ZARDINI, 1991). É provável que essas denominações tenham dado origem ao nome “yacon” depois da chegada dos espanhóis (GRAU; REA, 2004).

Provavelmente devido ao seu alto teor de água e baixo conteúdo calórico, a yacon não se destacou nos sistemas agrícolas sul-americanos, onde se priorizou o cultivo da batata e do milho, culturas essenciais para a sobrevivência da população (EL RETORNO, 2003).

Ao mesmo tempo em que o cultivo da yacon perdeu lentamente importância nos Andes, um processo inverso ocorreu fora dessa região. O cultivo da yacon fora dos países andinos teve início com o cultivo da raiz na Nova Zelândia, um país com uma forte cultura inovadora em agricultura. Nesse país, a yacon foi introduzida por volta dos anos 1960 (possivelmente proveniente do Equador), onde passou a ser comercializada nos supermercados como uma especialidade vegetal e, até os dias atuais, a raiz é consumida crua (KONONKOV et al., 1998; ROBINSON, 1997).

Em 1985, seu cultivo foi introduzido no Japão via Nova Zelândia, e nessa mesma época a planta começou a ser cultivada também na Coreia. No Japão, entretanto, desenvolveu-se uma pequena indústria agrícola, onde se exploraram as propriedades dietéticas e se realizaram os primeiros estudos científicos e publicações sobre as evidências do potencial medicinal da yacon (QUINTEROS, 2000).

Diversos autores relatam a distribuição geográfica do cultivo da yacon, desde o norte da Argentina (ZARDINI, 1991), passando pela Bolívia (GRAU; REA, 2004), Equador e Peru (TAPIA; CASTILLO; MÁZON, 1996) conforme apresentado na Figura 1.

No Peru, o local que mais se destaca é Cajamarca, onde existe uma longa e antiga tradição do consumo e da comercialização da raiz. Nessa cidade, é possível se conseguir yacon com muita facilidade nos mercados e feiras, de forma natural ou em forma de xaropes, de *chips* e de chá das folhas (CARDENAS, 1989).

O cultivo econômico da yacon no Brasil começou após a década de 90, quando um agricultor brasileiro de origem japonesa introduziu a espécie no interior do estado de São Paulo, iniciando uma pequena indústria familiar, que abastece comunidades japonesas, fornecendo raízes frescas, desidratadas e folhas secas para o preparo de chás medicinais para diabéticos (EL RETORNO, 2003). Até os dias atuais, o principal estado produtor da yacon no Brasil é o estado de São Paulo, destacando-se regiões como Capão Bonito e Botucatu (VILHENA, 1997).

Aproveitando esse nicho de mercado, alguns produtores de outros estados, incluindo agricultores do estado de Santa Catarina, iniciaram a produção comercial da yacon, oferecendo o produto em lojas especializadas na venda de produtos naturais, orgânicos ou medicinais. Atualmente, a yacon é cultivada em regiões distintas do estado de Santa Catarina (figura 2), tanto em regiões do planalto serrano quanto do litoral (Urubici, Blumenau, Itajaí, Santo Amaro da Imperatriz) (não existem dados oficiais).



Figura 1. Distribuição geográfica do plantio da yacón na América do Sul (mapa da América do Sul , adaptado)

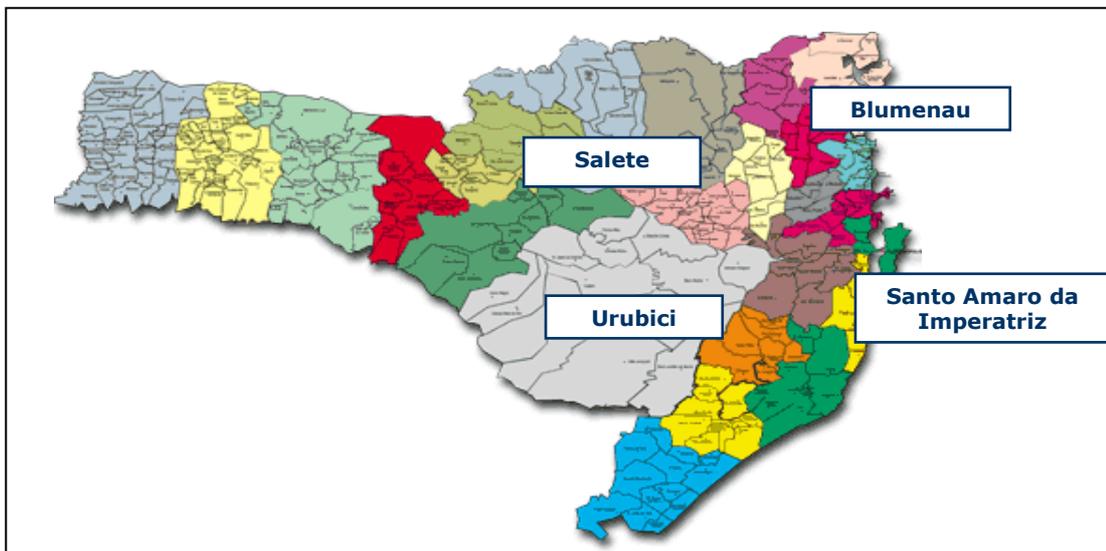


Figura 2. Regiões de cultivo da yacón no estado de Santa Catarina

Fonte: www.ciasec.gov.br

2.1.2 Nomenclatura

A yacon foi classificada com os seguintes nomes científicos: *Polymnia sonchifolia* Poepping & Endlicher (1845); *Polymnia edulis* Weddell (1857); e *Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher H. Robinson (1978). Normalmente, é citada na literatura como *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. ou *Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. H. Robinson (ZARDINI, 1991).

2.1.3 A planta

A planta cresce rápida e facilmente, atingindo a maturidade em 6 ou 7 meses, e sobrevive até mesmo em solos pobres. Atinge de 1,5 m a 3 m de altura, é herbácea e possui um talo principal, que, às vezes, se ramifica desde a base e, outras vezes, somente apresenta ramos pequenos na parte superior (GRAU; REA, 2004).

Há autores que definem a yacon como uma planta perene, de propagação vegetativa, dotada de um sistema radicular que origina caules aéreos e pilosos esverdeados, atingindo uma altura de 2 m a 2,5 m, que apresenta alta produtividade, podendo atingir um rendimento de raízes superior a 70 toneladas por hectares (NIETO, 1991; QUINTEROS, 2000).

Entre todas as plantas andinas, ela é atualmente a mais promissora a atrair a atenção mundial num futuro próximo, devido à sua surpreendente variedade de vantagens e benefícios. Assim como outras espécies do gênero, suas raízes sintetizam inulina ou componentes relacionados à inulina (ZARDINI, 1991).

O corpo humano não possui enzimas que hidrolisam os frutooligossacarídeos, portanto eles passam através do trato digestivo sem ser metabolizados, o que significa que a yacon fornece pouca energia (VIETMEYER, 1989; NINESS, 1999). Portanto, é possível dizer que a yacon é um alimento promissor para dietas e para os diabéticos, e pode ser mais produtivo que outros já conhecidos reservatórios de inulina (chicória e alcachofra, por exemplo), uma vez que tanto as raízes como os rizomas da planta são ricos nesse carboidrato, ao contrário das outras, nas quais apenas uma das partes da planta funciona como tal. Essa característica é importante no caso de processamento que vise obter inulina ou derivados (ZARDINI, 1991).

2.1.4 O sistema radicular

O sistema radicular é composto de 4 a 20 raízes tuberosas, que podem chegar ao diâmetro de 10 cm a 25 cm. A yacon produz dois tipos de porções subterrâneas comestíveis: o caule, usado pela planta para reprodução vegetativa; e o caule tuberoso que é usado pela planta como reserva nutricional. As raízes intumescidas são preferidas para comer por serem mais doces, suculentas e menos fibrosas. Os caules, apesar de suculentos quando jovens, são um pouco ásperos quando maduros (VIETMEYER, 1989; GRAU; REA, 1997).

Vilhena et al. (1997) descreveram que o sistema subterrâneo apresenta partes distintas: os rizomas, ou rizóforos; as raízes tuberosas; e as raízes delgadas. Os rizomas, ricos em fibras duras e não digeríveis, contêm gemas que são usadas para dar origem a novas plantas. As raízes tuberosas são comestíveis e contêm mais fibras solúveis. As raízes delgadas desempenham funções de absorção e de fixação (Figura 3).



Figura 3. As raízes da yacon

As raízes tuberosas da yacon têm formatos variáveis, mas geralmente são grossas, fusiformes ou ovaladas, conforme ilustra a Figura 4, e podem variar consideravelmente de sabor, tamanho e cor. Diferentes fatores como a variedade, o tipo de solo, a localidade, entre outros, podem influenciar na forma e no tamanho das raízes (GRAU; REA, 2004).

No Peru, as raízes desejáveis no comércio são as que possuem 13,3 cm a 15,7 cm de comprimento, 3,2 cm a 4,1 cm de diâmetro e 150 g a 300 g de massa fresca (MALON, 1983). No Brasil, Vilhena (2001) classificou como raízes apropriadas ao mercado aquelas com 14 cm a 28 cm de comprimento, 4 cm a 6 cm de diâmetro e 150 g a 900 g de massa fresca. Cada planta produz cachos de 5 a 20 unidades, o que dá uma média de 5 kg por planta (GOTO et al., 1995).

As raízes possuem aparência similar à batata-doce e podem pesar de 100 g a 1.200 g (SILVA et al., 2003). A cor da casca da yacon varia do marrom até uma tonalidade arroxeada, enquanto a porção comestível pode ser branca, amarela, laranja ou roxa (Figura 5), dependendo do clone cultivado (GRAU; REA, 2004).

O descascamento das raízes da yacon pode ser realizado manual ou quimicamente, empregando-se solução de hidróxido de sódio a quente. A falta de uniformidade das raízes inviabiliza o uso de equipamentos industriais normalmente utilizados no processamento de vegetais.

A yacon apresenta uma coloração amarelo-clara à intensa, devido à presença de pigmentos carotenóides (QUINTEROS, 2000). A presença de compostos fenólicos como o ácido clorogênico e o L-triptofano tornam as raízes da yacon susceptíveis ao escurecimento enzimático, causado pela enzima polifenoloxidase (PPO). Nessa reação ocorre a formação da melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto. O controle dessa reação pode ser feito pela inativação da enzima, pelo calor ou pelo uso de agentes redutores como o ácido ascórbico (ARAÚJO, 1990; YAN et al., 1999).



Figura 4. Diferentes formatos e tamanhos

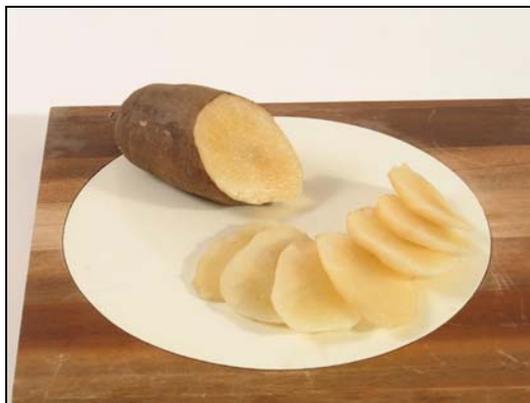


Figura 5. A cor da raiz da yacon

2.1.5 O cultivo

A planta atinge seu melhor potencial de crescimento quando cultivada em regiões próximas a florestas úmidas, em microambientes temperados e chuvosos, e, dependendo do índice pluviométrico, pode completar seu ciclo produtivo em 7 meses – esse período pode ser mais longo em altitudes mais elevadas. No Brasil, a safra vai de março a setembro, mas é possível encontrar uma pequena oferta em outros meses (QUINTEROS, 2000).

Poucas espécies se adaptam a diferentes ecossistemas como a yacon. Segundo Robinson (1997), essa planta pode ser cultivada em altitudes variadas, como ocorre na Bolívia, Equador e Peru, onde é cultivada em altitudes entre 900 m e 3.500 m acima do nível do mar; na Argentina é cultivada entre 600 m e 2.500 m; no Brasil, entre 600 m e 800 m; ou ao nível do mar, como no Japão e na Nova Zelândia.

Embora a yacon se adapte a uma diversidade de solos, desde ácidos até ligeiramente alcalinos, recomendam-se solos ricos em minerais, leves, bem estruturados e drenados (ROBINSON, 1997).

É necessária a irrigação regular devido à sua elevada capacidade de transpiração, porém uma irrigação em excesso pode ser crítica à qualidade das raízes pelas quebras que se produzem durante a estocagem.

2.1.6 Produtividade

A alta produtividade e a rusticidade da yacon têm levado alguns cientistas a pleiteá-la como fonte de matéria-prima para xarope de frutose (GRAU; REA, 2004).

O rendimento da colheita varia conforme a região e, nesse aspecto, a literatura cita produções desde 29 toneladas por hectares (t.ha.) (MALLON, 1983; NIETO, 1991) até 100 t.ha (VILHENA, 2001).

2.1.7 Colheita

A colheita, geralmente, é feita depois de 7 a 10 meses nos locais mais elevados. A colheita é realizada manualmente, para se obterem tubérculos inteiros, os quais são separados do tronco, que, por sua vez, são usados como ração para o gado. No Brasil, em São Paulo, usa-se a colheitadeira mecânica, com pequenas perdas (QUINTEROS, 2000).

No hemisfério sul, o plantio pode abranger o período de julho a janeiro e, por isso, a colheita pode ser realizada pouco a pouco, ao longo de vários meses.

2.1.8 Modo de consumo

O consumo da yacon varia, mas ela é consumida preferencialmente crua. Tem sabor adocicado e refrescante. Podem ser cozidas ou desidratadas na forma de *chips*. Quando o suco da yacon é colocado para ferver, transforma-se em blocos de açúcar e é chamado de “*chancaca*” pelos nativos dos Andes (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

As raízes tuberosas recém-colhidas são insípidas, mas, após uns 3 a 5 dias de exposição ao sol, ocorre uma reação de hidrólise dos frutanos, o que provoca o aumento do teor de frutose e sacarose livre, e as raízes tornam-se, então, suculentas e doces, e, por isso, muito apreciadas pela população local. Nesse processo as cascas ficam pregueadas pela desidratação (ZARDINI, 1991).

Logo, se a raiz é destinada ao consumo *in natura*, deve ficar ao sol para que ocorra o incremento no sabor doce; entretanto, se destinada ao consumo por diabéticos ou para obtenção de inulina e frutoligossacarídeos, deve ser processada ou consumida rapidamente (QUINTEROS, 2000).

O sabor da yacon, adocicado, tem sido descrito pelo National Research Council como semelhante ao de uma maçã fresca e a um sabor que lembra a melancia (NRC, 1989).

Outros autores (OHYAMA et al., 1990; PARAJARA, 1999) descreveram o sabor da yacon como semelhante ao da pêra. Costuma-se consumir a yacon descascada *in natura* como se fosse uma fruta ou como parte de saladas de frutas, com banana, laranja e mamão. Pode também ser cozida no forno ou, ainda, ser preparada sob a forma de bebida refrescante (ROBINSON, 1997).

Nos mercados e feiras da região andina, a yacon é classificada como fruta e é comercializada junto com maçãs, abacates ou abacaxis, e não com outras raízes e tubérculos, como seria esperado (ROBINSON, 1997).

2.1.9 As folhas

As folhas da yacon medem geralmente 33 cm de comprimento por 22 cm de largura, apresentam coloração verde-escura, são pilosas, denteadas, opostas alternas (ZARDINI, 1991).

A yacon possui em suas folhas (Figura 6) dois sistemas de defesa: uma espessa trama de pêlos que dificulta o acesso dos insetos; e uma alta densidade de glândulas (provavelmente com sesquiterpenos tóxicos). A associação desses mecanismos faz com que as folhas da yacon sejam pouco atacadas por insetos, o que permite seu cultivo sem o emprego de agrotóxicos e facilita o cultivo orgânico. Essa resistência natural da cultura da yacon às pragas é considerada ideal para uma planta que pode ser utilizada com fins medicinais ou dietéticos (EL RETORNO, 2003).

2.1.10 Sistema reprodutivo e de propagação

As flores localizadas mais externamente na inflorescência são providas de lígulas livres, amarelas ou alaranjadas, e possuem de 10 mm a 15 mm de comprimento por 7 mm de largura (ZARDINI, 1991).



Figura 6. A folha e a flor da yacon

Fonte: Grau e Rea (2004).

De acordo com Zardini (1991), para a yacon, os aquênios são desconhecidos, sendo possível que não sejam produzidos sob qualquer condição. No método de propagação assexuada, também denominada de propagação vegetativa, são utilizadas partes que não têm, inicialmente, função reprodutiva, podendo ser empregadas estacas de galhos ou de raízes, rizomas, bulbos e rebentos.

A yacon é um parente distante do girassol, mas o seu cultivo não é realizado com sementes, mas sim pelas raízes comestíveis, por estaquia ou por divisão de touceira. O método de estaquia é descrito pela utilização de brotos com duas a três folhas, postos para enraizar em substratos de areia. Após a formação da muda, faz-se o transplante para o local definitivo (KURODA; ISHIARA, 1995).

Vilhena e colaboradores (1997) descreveram a técnica usada no Brasil, na região de Capão Bonito, São Paulo, onde se usam tubérculos de 60-80 g, plantados em canteiros de 1,0

m de largura por 0,4 m de altura, com espaçamento de 1,4 m entre linhas e 0,9 m entre plantas. Esses mesmos autores relatam que, no Japão, a propagação da yacon, por meio de divisão de touceiras, ocorre no início da primavera. Quando a cepa da yacon brota, os brotos crescem e são separados, podendo gerar até 18 mudas.

Estrella e Lazarte (1994) desenvolveram métodos de propagação da yacon *in vitro*. Segundo esses autores, os procedimentos de micropropagação estabelecidos permitiriam a preservação de mais de 28 genótipos da yacon.

2.1.11 Armazenamento

Com relação à temperatura ideal para armazenar a yacon, Daiuto (1999) observou que raízes da yacon mantidas sob condição ambiente apresentam respirações superiores às sob refrigeração a 2 °C. Vilhena, Câmara e Kadihara (2000) recomendam o armazenamento em câmaras frias a 4 °C por um período de até 30 dias. Quijano et al. (2002) observaram que, durante o armazenamento da yacon, a atividade das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) foi significativamente menor nas raízes mantidas a 4 °C. Nas raízes conservadas em temperatura ambiente (22 °C), a atividade de POD aumentou progressivamente durante o armazenamento, e ao final de 15 dias foi três vezes maior do que a atividade das raízes conservadas a 4 °C. O pico de atividade da PPO ocorreu no 6º dia de armazenamento, em temperatura ambiente, e no 9º dia, para condições de refrigeração.

Fernández, Lipavská e Michl (1997) observaram que, nas raízes da yacon embaladas em sacos de papel e armazenadas a 14 °C, durante 140 dias, houve diminuição moderada de FOS e conseqüente aumento da frutose. A quantidade de açúcares totais manteve-se constante.

2.1.12 Composição química da yacon

Em relação às características bromatológicas e químicas da yacon, destaca-se o baixo teor de calorias de suas raízes, o que a torna atrativa para o consumo por pessoas em dietas de emagrecimento ou cujas doenças necessitem algum controle. Na yacon, quantidades apreciáveis de frutoligossacarídeos (FOS) são armazenadas nas raízes tuberosas, o que a diferencia da maioria das raízes, que acumulam amido como carboidrato de reserva (GALLARDO, 1999).

A yacon é uma das raízes de reserva comestível que mais tem conteúdo de água na sua composição, que pode variar de 83% a 90% do peso fresco das raízes (NIETO, 1991).

As raízes de reserva da yacon possuem quantidades importantes de potássio, um elevado conteúdo de cálcio, compostos fenólicos derivados de ácido caféico, substâncias antioxidantes com ácido clorogênico e triptofano, e várias fitoalexinas com atividade fungicida. Os conteúdos de lipídios, vitaminas e outros minerais são baixos (TAKENAKA et al., 2003).

No Brasil, a yacon geralmente apresenta coloração amarelo-clara ou amarela intensa. Os carotenóides são os pigmentos responsáveis pela coloração amarela, laranja e vermelha dos vegetais e frutas, além de alguns deles serem precursores da vitamina A.

Quinteros (2000) avaliou o perfil de carotenóides da yacon por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e detectou 12 carotenóides, dos quais apenas cinco puderam ser avaliados quantitativamente. Foram avaliados três lotes de raízes da yacon e, conforme se pode observar na Tabela 1, o β -caroteno é o principal carotenóide, representando mais de 94% do total.

Tabela 1. Conteúdo médio de carotenóides e valor de vitamina A na raiz da yacon

CAROTENÓIDES	LOTE 01	LOTE 02	LOTE 03
α -caroteno	4,35 \pm 0,3	tr **	n.d.*
β -caroteno	454,13 \pm 5,5	92,60 \pm 2,4	67,52 \pm 3,9
VITAMINA A***	75,69 \pm 0,9	15,43 \pm 0,4	11,25 \pm 0,7

* n.d. não detectado

** tr traços

*** RE/100 g

Dados expressos em μ g por 100 g

Fonte: Quinteros (2000).

Pode-se constatar que há variações nos dados citados na literatura. Segundo Zhishen, Meng-Cheng e Jianming (1999), essa diferença é causada por diferenças na época do plantio, região geográfica ou até mesmo métodos analíticos diferenciados.

A yacon é uma espécie forrageira com potencial para ser utilizada em pastagens devido ao conteúdo de proteínas que varia entre 11% e 17% em base seca nos talos e folhas (NIETO, 1991).

Hermann, Freire e Pazos (1998) demonstraram que existe uma alta correlação positiva entre °Brix e o conteúdo de frutanos ($r = 0,84$) e matéria seca ($r = 0,86$), sugerindo que essa medida pode ser utilizada para a obtenção de informações rápidas sobre essa importante variável.

O fenômeno de degradação enzimática, que ocorre durante o período de armazenamento da raiz da yacon, é comprovado com a comparação entre o trabalho realizado por Asami et al. (1991), que ressaltaram a presença de 67% de FOS na massa seca da yacon recém-colhida, e o estudo realizado por Ohyama et al. (1990) em amostras mantidas sob refrigeração por três meses, com 26% de FOS.

Fukai et al. (1993) constataram que, pela ação da frutano-hidrolase, a concentração dos frutanos da yacon sofre uma queda durante o armazenamento, enquanto a concentração de frutose sobe.

Observando-se os dados de Nieto (1991), pode ser verificado um expressivo acréscimo de frutose nas amostras expostas ao sol com relação às amostras recém-colhidas, de mais de 800%, acompanhado por aumentos menores em glicose e sacarose.

Asami et al. (1991) estudaram mudanças dos FOS da yacon em duas temperaturas de armazenamento. Após 2 semanas a 5 °C e 25 °C, houve quedas no grau de polimerização (DP) de 33% e 41%, respectivamente.

Vilhena, Câmara e Kadihara (1997) estudaram a influência da cura pelo sol no conteúdo de frutanos e encontraram que no primeiro dia há um significativo aumento, mas logo no segundo dia ocorre uma redução acelerada e, finalmente, entre o terceiro e oitavo dias, acontecem ligeiras diminuições. Por outro lado, os autores observaram que a redução dos frutanos na yacon estocada em câmaras frias a 4 °C foi significativa após 10 dias.

Wei et al. (1991) constataram que, durante o armazenamento das raízes tuberosas da yacon, os conteúdos de frutose e de glicose aumentaram, e a quantidade de FOS decresceu.

Van Loo e colaboradores (1995) concluem que o DP varia segundo a fonte vegetal; por exemplo, na chicória, 60% dos FOS têm DP < 20, enquanto os demais tem DP entre 20 e 60.

Já no caso da yacon, Asami et al. (1991) relataram um DP médio de 4,3, e Goto et al. (1995) constataram a existência de FOS com DP < 10.

Ohyama et al. (1990) analisaram o conteúdo de carboidratos solúveis nos tubérculos da yacon armazenada sob refrigeração por 96 dias após a colheita, sob refrigeração, determinando o conteúdo total de 0,773 g/100 g em base seca, equivalente em média a 9,93% do total do peso da yacon. A glicose e a sacarose correspondem a 2,98% do peso total. Entre os minerais, o potássio foi o macroelemento presente em maior quantidade, 1,34% em matéria seca, seguido pelo cálcio (0,14%), magnésio (0,12%), fósforo (0,08%) e sódio (0,06%) (INFORME TÉCNICO, 1996). Na Tabela 2, observa-se a composição centesimal da porção comestível da yacon.

Tabela 2. Composição química da raiz da yacon

<i>Componente</i>	<i>National Reserach Countrol, 89 Base seca</i>	<i>Informativo. Técnico, 96 Base seca</i>	<i>CAPITO, 01 Base seca</i>	<i>QUINTEROS, 01 Base úmida</i>	<i>QUINTEROS, 01*</i>	<i>CAPITO, 01 Base úmida</i>	<i>NIETO, 91. Base úmida</i>	<i>USP** Base úmida</i>
Umidade (%)	69-83	89,21	90,8	86,16	88	90,8	84,8*	93,49
Cinzas (%)	4-7	3,70	3,72	0,42	0,41	0,41	23,03	0,46
Proteína (%)	6-7	3,73	2,95	0,71	0,62	0,32	24,34	0,35
Lipídios (%)	0,4-1,3	0,62	0,75	0,03	0,03	0,08	9,87	0,29
FAT (%)	4-6	5,52	9,12	3,59	2,87	0,84	23,37	1,17
FAS (%)	-	-	3,16	-	-	0,29	-	0,16
FAI (%)	-	-	6,52	-	-	0,60	-	1,01
Carboidrato	65	85,55	-	-	-	-	-	8,41
Valor Calórico	-	-	23,96	-	-	23,96	-	33

* Quinteros avaliou um clone amarelo da Bolívia ** Universidade de São Paulo (Dados de diversos laboratórios).

2.1.13 Os carboidratos presentes na yacon

Em termos gerais, os carboidratos representam cerca de 90% do peso seco das raízes recém-colhidas, dos quais 70% são FOS (ASAMY et al., 1991). As raízes tuberosas da yacon apresentam um elevado conteúdo de açúcares solúveis (820 mg/g \pm 30 mg/g de matéria seca), frutose (589 mg/g \pm 38 mg/g de matéria seca) e frutanos de baixo grau de polimerização (DP 3 a 10). Os demais carboidratos são sacarose e glicose (ASAMI et al., 1991; NIETO, 1991).

Esses resultados demonstram que a yacon pertence ao grupo dos vegetais que acumulam frutanos de baixo grau de polimerização, semelhantes à cebola e aos bulbos de tulipa, e são diferentes da inulina acumulada em plantas como *Helianthus tuberosus* ou dália (HERMANN; FREIRE; PAZOS, 1998).

Em estudo do comportamento dos carboidratos de reserva nas raízes tuberosas da yacon após colheita, Vilhena, Câmara e Cadihara (1997) observaram uma diminuição expressiva no conteúdo de frutanos de 101,3 mg/g na raiz recém-colhida para 84,31 mg/g após o segundo dia de exposição ao sol, estabilizando-se após esse período.

O grau de polimerização e os valores de frutose, glicose, sacarose e frutanos nas raízes da yacon *in natura*, obtidos por diferentes autores, apresentam grande variação, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Conteúdo médio de carboidratos da raiz de yacon (%)

<i>Conteúdo</i>	<i>VILHENA (1997)</i>	<i>HERMANN et al. (1998)</i>	<i>QUINTEROS (2000)</i>	<i>CAPITO (2001)</i>
Frutose	-	3,40	17,0	8,60
Glicose	-	8,50	43,30	21,50
Sacarose	-	14	9,80	7,22
Frutanos	101,30	62	32,10	24,40

Enquanto Asami et al. (1991) relataram 67% de FOS (base seca) em yacon recém-colhida, Ohyama et al. (1990), em amostras mantidas sob refrigeração por 96 dias, verificaram apenas 20% de FOS, o que, na realidade, demonstra o fenômeno da degradação enzimática que ocorre ao longo do armazenamento, mesmo em baixas temperaturas.

Fukai et al. (1993) constataram que, pela ação da frutano-hidrolase, a concentração dos frutanos da yacon sofre uma queda durante o armazenamento, enquanto a concentração de frutose sobe. Wei et al. (1991) constataram que, durante o armazenamento das raízes tuberosas da yacon, os conteúdos de frutose e glicose aumentaram e os dos FOS decresceram.

No caso da alcachofra-de-jerusalém, esses autores observaram um aumento dos FOS de baixo DP acompanhados de uma diminuição dos frutanos de alto DP.

Zardini (1991) ressaltou que o típico sabor da yacon só aparece depois de uma exposição ao sol por 3-5 dias. Quando comparado com outras fontes tradicionais de frutanos como chicória, alcachofra-de-jerusalém ou dália, a yacon pode ser considerada como uma importante fonte de frutanos.

A raiz da yacon pode ser considerada um alimento funcional, pelo fato de que é fonte de FOS, e as propriedades funcionais do FOS presentes nas raízes da yacon decorrem do fato de que possuem efeitos de fibras dietéticas e um valor calórico reduzido (NINESS, 1999; WANG; SPORNS; LOW, 1999).

2.1.14 Processamento da yacon

Apesar da elevada concentração de frutanos, é improvável que a yacon seja utilizada como fonte de adoçante dietético ou se torne uma fonte de frutose em um futuro próximo devido à ausência de tecnologia compatível para a extração e produção em escala industrial, à competição com xaropes de frutose de baixo custo obtidos do amido de milho e ao protecionismo do mercado de açúcares (HERMAN; FREIRE; PAZOS, 1998).

No Japão e também no Brasil, uma série de produtos já vem sendo comercializada, entre os quais podemos citar a yacon desidratada fatiada, semelhante a *chips*, e as folhas desidratadas para o preparo de chá para o controle de diabetes e hipertensão (RIBEIRO, 1993).

Um produto que apresenta um potencial interessante é o xarope da yacon não refinado, com consistência semelhante ao mel e que pode ser vendido como um adoçante dietético (HERMAN; FREIRE; PAZOS, 1998).

Os países andinos têm desenvolvido projetos visando valorizar raízes e tubérculos regionais (PAPN, 1996).

Pesquisadores do Peru e Equador obtiveram doces desidratados e continuam pesquisando desenvolver a farinha da yacon – as farinhas obtidas formaram massas emboladas duras, durante a estocagem, mesmo embaladas com polietileno, devido à higroscopicidade dos carboidratos presentes na yacon (QUINTEROS, 2000).

Outra opção de comercialização e agregação de valores comerciais ao yacon é a produção de sucos, que podem ser facilmente incorporados à dieta de diabéticos e da população em geral. No início da década de 90 foram desenvolvidas no Japão bebidas a partir

da yacon branqueado, moído e submetido à ação de celulases a 45 °C por duas horas. O suco é utilizado como adoçante em formulações prontas para beber (QUINTEROS, 2000).

Hisae et al. (1996) patentearam uma metodologia para preparar bebida nutritiva a partir de leite desnatado e suco de yacon fermentado pela ação das bactérias lácticas (*Lactocacillus plantarum*).

A importância do estudo do processo tecnológico e a comprovação da propriedade funcional da yacon advêm da escassez de referências sobre o assunto. A maioria das referências são patentes japonesas, e inexistem estudos sobre o controle da hiperglicemia em humanos, apesar do uso popular da planta e do comprovado efeito do chá da folha em animais (VOLPATO et al., 2002).

É mais provável que os produtos da yacon com pouco ou nenhum refinamento sejam mais bem-sucedidos no mercado por poderem ser vendidos como produtos naturais ou de baixa caloria para pessoas que buscam uma alimentação saudável (HERMAN; FREIRE; PAZOS, 1998).

2.2 Fibras Alimentares

As fibras alimentares têm ocupado uma posição de destaque devido à sua ação benéfica no organismo humano e à relação entre o seu consumo em quantidade adequada e a prevenção de doenças (STELLA, 2004).

A prevalência da obesidade nos Estados Unidos duplicou nas últimas duas décadas; mais do que 60 milhões de pessoas têm o índice de massa corporal acima dos 30 Kg/m². Em 2002, a prevalência da obesidade para adultos nos EUA foi de 19,8%, apontando um aumento de 61% desde 1994. Um total de 38,8 milhões de adultos nesse país são obesos (19,6 milhões homens e 19,2 milhões de mulheres) (FARRET, 2005).

Em países em desenvolvimento, onde a desnutrição é tradicionalmente vista como endêmica, a obesidade emerge como um problema de saúde pública (TONIAL, 2001). Segundo relatório conjunto do Banco Interamericano de Desenvolvimento e da Organização Mundial da Saúde, de 1996, o aumento da obesidade e das enfermidades crônicas associadas à alimentação, particularmente nos grupos de baixo nível socioeconômico, tem alcançado proporções da ordem de 50% entre os adultos (ANVISA, 1999).

Em 2003, cerca de 38,8 milhões de brasileiros estavam com sobrepeso – equivalente a 40,6% da população adulta (20 anos ou mais) –, e 10,5 milhões foram considerados obesos (IBGE, 2003).. A obesidade afeta 8,9% e 13,1% de adultos homens e mulheres,

respectivamente. No país, a proporção de obesos é menor nas regiões rurais em relação às regiões urbanas.

Nas últimas décadas, a obesidade tem sido a doença crônica não transmissível de maior prevalência nas sociedades industrializadas e nas em desenvolvimento, como o Brasil. Como principais conseqüências, aparecem várias doenças, entre elas diabetes mellitus, dislipidemias, cardiopatias, algumas neoplasias e efeitos psicossociais (MANCINI, 2004; MATTOS et al., 2000; WHO, 1998).

As doenças cardiovasculares estão relacionadas com a obesidade e com práticas alimentares e estilos de vida inadequados, e representam a principal causa de morte e de incapacidade na vida adulta e na velhice, correspondendo a 34% de todas as causas de óbito no Brasil. A cultura popular ainda preserva tradições e práticas alimentares errôneas sobre o valor nutritivo, propriedades terapêuticas, indicações ou interdições de alimentos ou de suas combinações (ANVISA, 1999).

Assim, faz-se necessário investir na educação da população quanto à qualidade nutricional de alimentos, através das indústrias alimentícias, serviços de alimentação e de profissionais da área. Um agravante adicional ao aumento da obesidade é a tendência generalizada da menor contribuição dos carboidratos no consumo energético total e sua substituição por gorduras, somando-se a isso as facilidades atualmente encontradas para a aquisição de alimentos (pré-preparados, prontos e congelados) disponíveis no mercado, bem como as inúmeras opções de restaurantes *self-service* como favorecedores dessas mudanças. Assim, é possível que o consumo de alimentos saudáveis e de fibras alimentares tenha diminuído com a modernização.

No Brasil, os principais produtos que utilizam grãos integrais como ingredientes são granola, cereais matinais, barras de cereais, pães integrais (de aveia, cevada, linhaça, soja, trigo, centeio), biscoitos integrais (aveia, linhaça, gergelim) e bolos integrais (aveia), além dos cereais em flocos, farelo ou farinha integral (aveia, trigo, cevada).

A restrição de carboidratos vem da compreensão de que alguns deles, presentes no arroz branco, no pão branco e na batata, são quebrados rapidamente no intestino, transformando-se em açúcar. Os efeitos da alta taxa de glicemia podem levar à compulsão alimentar e a problemas cardiovasculares, e por isso esses alimentos devem ser ingeridos com parcimônia. Os carboidratos complexos são encontrados em alimentos de grãos integrais, que estão liberados (estão na base da pirâmide). O problema é que todo mundo elogia o trigo e o centeio integrais, mas ninguém quer consumi-los metodicamente, a não ser os praticantes de

dietas alternativas. Tanto é que esses produtos são muito menos numerosos nas prateleiras dos supermercados (GRANADEIRO, 2001).

De acordo com a Anvisa (1996), não há determinação de um limite mínimo para a extração máxima do cereal para que um produto seja considerado integral, nem existe a proporção de adição de cereais integrais (farinhas, farelos) para que o alimento industrializado seja dito integral. A RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000, determina que, pão integral é o produto preparado, obrigatoriamente, com farinha de trigo e farinha de trigo integral e/ou fibra de trigo e/ou farelo de trigo, sem especificar porcentagens definidas da adição de farinha integral ou farelo (ANVISA, 2000). Farinha de trigo integral é aquela obtida a partir do cereal limpo e com teor máximo de cinzas de 2,0% na base seca – uma definição muito simplificada, conforme a Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996 (ANVISA, 1996).

Entre os fatores relevantes que estão vinculados à segurança e à qualidade dos produtos, cabe destacar o avanço científico e tecnológico em relação à avaliação do valor nutritivo dos alimentos. Isso ressalta a importância do desenvolvimento de produtos a partir de grãos integrais de qualidade, em quantidades consideráveis.

Um dos problemas no Brasil é a falta de recursos tecnológicos disponíveis a pequenas empresas, uma vez que estas desconhecem formas de melhorar a qualidade de seus produtos integrais, o que limita a produção e o acesso pelo consumidor. Assim, o maior investimento em avanços tecnológicos e produtos integrais de maior qualidade ainda fica restrito às grandes indústrias alimentícias.

Tungland e Meyer (2002) demonstraram a relação entre o consumo de fibra alimentar e a incidência de enfermidades gastrintestinais em estudos realizados na África, onde o consumo médio de fibras é de até 150 g ao dia e onde é muito rara a incidência de doenças como constipação crônica, diverticulite e cólon irritável. Por outro lado, em países industrializados, onde o consumo de fibras é consideravelmente menor, há elevadas taxas de morbidade e de mortalidade devido a doenças do aparelho digestivo (MÁRQUEZ, 2001).

Um dado preocupante, quando se analisa o hábito alimentar da população brasileira, é que, em geral, verifica-se uma baixa ingestão de alimentos fontes de fibras, principalmente nos grandes centros urbanos, onde os *modus vivendi* influenciam de forma negativa na qualidade de vida das pessoas, contribuindo para o maior consumo de produtos refinados, a menor frequência de alimentos naturais na dieta e a substituição de refeições caseiras por lanches rápidos, na maioria das vezes gordurosos e desbalanceados (STELLA, 2004).

2.2.1 Definição

Definir o que são fibras alimentares é um tanto complexo, visto que abrange uma grande gama de compostos com efeitos diferentes tanto no alimento como para quem as consome. Uma definição bastante aceita atualmente é que as Fibras Alimentares consistem em remanescentes de plantas comestíveis e substâncias associadas, polissacarídeos e análogos de carboidratos e lignina, resistentes à digestão e à absorção no intestino delgado humano (De SÁ; De FRANCISCO, 2000).

Atualmente, a definição mais amplamente aceita é a que designa fibra alimentar como sendo uma parte dos vegetais resistente à digestão enzimática e às secreções do trato gastrintestinal humano, compreendendo um grupo heterogêneo de compostos carboidratos associados e outros componentes, de fundamental importância na estrutura das plantas (BAXTER, 2004).

Com relação à terminologia usada para se referir à fibra, é importante diferenciar três conceitos que aparecem freqüentemente na literatura: fibra crua, fibra vegetal e fibra alimentar. A fibra crua é definida pela American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000) como resíduos insolúveis dos alimentos, após hidrólise a quente em meio ácido e alcalino diluído. Compõem-se de hemicelulose (80%), celulose (50-80%) e lignina (10-50%).

A fibra vegetal está relacionada fundamentalmente a elementos fibrosos da parede da célula vegetal. Fibra alimentar é a expressão internacionalmente aceita para definir o conteúdo de fibras nos alimentos e engloba celulose, lignina, pectina, goma, inulina, frutoligossacarídeos (FOS) e o amido resistente (LAJOLO; SAURA-CALIXTO, 2001).

Vale lembrar que, apesar de esses compostos de origem vegetal não serem completamente digeridos e absorvidos no sistema digestivo humano, desempenham papel muito importante na digestão e na absorção de outros nutrientes presentes nos alimentos, tais como gorduras e açúcares.

A AACC, através de seu Comitê de Fibras Alimentares, promoveu uma ampla discussão sobre a definição ideal para fibras alimentares. Muitos pontos foram discutidos, como definição fisiológica e/ou analítica, inclusão de compostos sintéticos ou resultantes do processamento, entre outros. Em novembro de 1999, esse fórum de discussões foi finalizado com a presença de muitos especialistas e membros da indústria, principalmente americana, chegando à seguinte definição:

Fibras Alimentares consistem em remanescentes de partes comestíveis de plantas e carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Estão incluídos os polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas. Exibem um ou mais efeitos laxativos (aumento do volume e maciez do bolo fecal; aumento da frequência e/ou regularidade), atenuação do colesterol e/ou glicose sanguíneos. (DE SÁ; DE FRANCISCO, 2000).

Para a rotulagem de alimentos, uma padronização do método de análise se faz necessária, principalmente para evitar mal-entendidos ao consumidor. No Brasil, o Ministério da Saúde, pela Portaria nº 41, de 14 de janeiro de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, define fibras alimentares como:

Qualquer material comestível de origem vegetal que não seja hidrolisado pelas enzimas endógenas do trato digestivo humano, determinado segundo o método 985.29 da AOAC 15ª ed. 1990 (método enzimático-gravimétrico) ou edição mais atual. (ANVISA, 1998).

2.2.2 Componentes estruturais da parede celular vegetal

A fibra desempenha na planta de sua procedência duas funções fundamentais: a estrutural; e a não estrutural. A fibra alimentar inclui componentes da parede celular, como a celulose, a hemicelulose e a pectina. A fibra não estrutural é formada por substâncias secretadas pela planta em resposta às agressões ou lesões sofridas. Esses compostos complexos de origem vegetal que não são digeridos no intestino humano são as mucilagens, gomas ou polissacarídeos de algas (ROCCO, 1993).

A localização e principais funções das fibras estão apresentadas resumidamente na tabela 04.

Tabela 4. Resumo das principais funções e localização das fibras nas plantas

<i>COMPOSTO</i>	<i>FUNÇÕES</i>	<i>LOCALIZAÇÃO</i>
Celulose	Estrutura	Parede celular
Hemicelulose, mucilagens e as gomas	Estrutura, reparação de danos e lesões	Parede celular, espaço intracelular

Fonte: Márquez (2001).

Essas macromoléculas estão unidas em uma rede mediante forças de Van der Waals, pontes de hidrogênio e ligações covalente e iônica, de forma que se torna difícil isolar e

analisar os componentes sem provocar modificações durante a extração (HERNANDEZ; HERNANDEZ; MARTINEZ, 1995).

O conteúdo dessas substâncias depende também do grau de maturação da planta, pois a porcentagem de celulose aumenta com a maturação, ocorrendo o inverso com a hemicelulose, a pectina e polissacarídeos (MÁRQUEZ, 2001).

2.2.3 Estrutura e classificação

Com exceção da lignina, as fibras alimentares pertencem ao grupo dos carboidratos. São polissacarídeos não amiláceos compostos de moléculas de açúcares: pentoses (arabinose, xilose), hexoses (manose, glicose, galactose, frutose), 6-deoxihexoses (L-manopirranose/fucopirranose) ou ácidos urônicos (D-glicônico; 4-O metil-D-glicurônico, D-galacturônico). Por definição, são polímeros com mais de 11 unidades desses açúcares, unidas por ligações glicosídicas.

As cadeias laterais ou ramificações da estrutura básica são responsáveis pela solubilidade das fibras alimentares totais (FAT), que podem ser divididas em fibras alimentares solúveis (FAS) e fibras alimentares insolúveis (FAI).

Essa classificação é muito útil para o entendimento das propriedades fisiológicas das fibras alimentares, permitindo uma divisão simples entre aquelas que têm efeitos principalmente sobre a absorção de glicose e lipídios no intestino delgado, que são facilmente fermentadas por bactérias no cólon (solúveis), e aquelas que são fermentadas lenta e incompletamente, tendo efeitos mais pronunciados nos hábitos intestinais (insolúveis).

Porém, a separação entre as frações solúvel e insolúvel não é quimicamente muito clara, dependendo das condições de extração. As diferenças fisiológicas não são, de fato, muito distintas, com parte das fibras insolúveis sendo rápida e completamente fermentada, enquanto nem todas as fibras solúveis têm efeitos sobre a absorção de glicose e lipídios.

2.2.4 Capacidade de retenção hídrica

Todas as fibras possuem a capacidade em meio aquoso de atrair a água. As fibras solúveis apresentam uma estrutura de polissacarídeos que possibilita a fixação de água. Essa fixação pode ocorrer por diferentes mecanismos: por via química, ou seja, fixando as fibras a grupos hidrófilos dos polissacarídeos; e por acúmulo na matriz da fibra ou por acúmulo nos espaços interparietais.

A capacidade que a fibra tem para reter água é muito importante quando se trata de formulação e processamento de alimentos ricos em fibras. Fisiologicamente, a capacidade de retenção de água é de suma importância, uma vez que a quantidade retida resultará em alguma função específica no organismo (DE SÁ; DE FRANCISCO, 2000).

Apresentando comportamentos diferenciados em sua solubilidade frente à água, têm-se duas frações: fibra alimentar insolúvel; e fibra alimentar solúvel. Os componentes das fibras com maior capacidade de retenção de água são as fibras solúveis: pectina, gomas, muclilagens e hemiceluloses (LAJOLO; SAURA-CALIXTO, 2001).

No intestino delgado, a fibra alimentar, devido à sua propriedade de fixação de água, aumenta o volume e a viscosidade do conteúdo intestinal. Fibras com grande capacidade e rapidez de embebição podem influir de forma importante nos processos de absorção de nutrientes e transporte do bolo fecal, e fibras com capacidade de retenção hídrica menor desenvolvem suas propriedades fisiológicas nas porções terminais do cólon. Neste local, ocorre a maior parte dos processos de digestão e, principalmente, de absorção. Essa propriedade é particularmente interessante no caso da glicose e do colesterol (MÁRQUEZ, 2004).

A goma-guar, pectina, β -glucana na aveia e psílio podem melhorar a tolerância à glicose ao regular os níveis pós-prandiais da glicose e insulina no sangue (STARK; MADAR, 1994). A suplementação de alimentos sólidos com fibras (8 g a 20 g por 100 g de carboidratos) poderia reduzir em 20% a 50% os níveis de glicose em diabéticos (WÜRSCH, 1997).

Julga-se, com freqüência, que as fibras solúveis melhoram a tolerância à glicose através de uma viscosidade elevada. Isso retarda a digestão e a absorção de carboidratos, porém a mediação hormonal da absorção da glicose e da liberação de insulina também poderia estar envolvida (STARK; MADAR, 1994). Na Tabela 05 estão representadas a classificação, os tipos, as fontes e as ações das fibras solúveis e insolúveis.

Tabela 5. Classificação, tipos, fontes e ações das fibras solúveis e insolúveis.

<i>FIBRAS</i>	<i>TIPOS</i>	<i>FONTES</i>	<i>AÇÕES</i>
Solúveis	Pectina, gomas	Frutas, verduras, cevada, leguminosas	Retarda a absorção de glicose; reduz esvaziamento gástrico; diminui taxas de colesterol sanguíneo; previne contra o câncer
Insolúveis	Ligninas, celulose, hemicelulose	Verduras, farelo de trigo, cereais integrais	Aumenta o bolo fecal; melhora o trânsito intestinal; previne a constipação

Fonte: Stella (2004).

2.2.5 Fibras solúveis

Aproximadamente um terço das fibras alimentares ingeridas com a dieta típica são solúveis. Essas tendem a formar géis em contato com água, aumentando a viscosidade dos alimentos parcialmente digeridos no estômago. Dentro desse grupo estão as pectinas, algumas hemiceluloses ou pentosanas, gomas e mucilagens.

Pectinas, ou substâncias pécticas dão firmeza às plantas, colando as paredes celulares. São usadas como espessantes, emulsificantes e conservantes em alimentos, assim como na formação de géis.

As hemiceluloses ou as pentosanas são polissacarídeos complexos não amiláceos e não celulósicos associados à lignina.

Nos vegetais, formam as paredes celulares e o material que liga as células. Podem ser quimicamente muito variadas e apresentar frações insolúveis. Entre as hemiceluloses mais importantes estão as β -glucanas da aveia e da cevada.

A maioria das gomas e das mucilagens pertence ao grupo das hemiceluloses. Estas fibras estão associadas com modificações no metabolismo de carboidratos e lipídios. A absorção de compostos orgânicos tem sido relacionada com a excreção de ácidos biliares, com alguns carcinogênicos e com a redução do índice glicêmico dos alimentos.

As fibras solúveis são quase completamente fermentadas pelas bactérias presentes no cólon, produzindo ácidos graxos de cadeia curta, que podem ser absorvidos pelo organismo, podendo inibir a síntese de colesterol no fígado. Efeitos hipocolesterolêmicos são atribuídos particularmente às β -glucanas.

Os alimentos com alto teor de fibras solúveis são os cereais (aveia, cevada, milho, centeio e psílio), as frutas (banana, maçã) e as leguminosas (feijões, ervilhas), além de couve-flor e cenoura, entre outros.

As fibras solúveis em contato com a água formam uma rede onde a água fica retida, gelificando a mistura. São encontradas especialmente nas frutas como laranjas, maçãs e cenouras (TUNGLAND; MEYER, 2002).

A composição da fibra solúvel de um fruto pode ser afetada por processos intrínsecos e pela maturação que este experimenta depois da sua colheita. Por outro lado, fatores externos como as condições de armazenamento e processamento podem modificar a natureza da fibra solúvel (PECTIN, 2005).

As fibras solúveis perdem sua capacidade de reter água (gelificação) durante a fermentação e, portanto, julga-se que elas tenham um pequeno efeito sobre o peso fecal. Entretanto, as fibras altamente fermentáveis podem aumentar a massa bacteriana e os gases nas fezes, o que, por sua vez, poderia aumentar o peso e o volume das fezes (ROBERFROID, 1993).

Estudos preliminares sugerem que frutooligossacarídeos e inulina altamente fermentados podem causar um pequeno aumento (1,5 g a 2 g de fezes por grama de fibra ingerida) no peso fecal (DE SCHRIJVER, 1996).

As fibras solúveis podem baixar os níveis de colesterol total e LDL (lipoproteínas de baixa densidade) (HEALTH, 1997). Uma diminuição de 5% a 15%, aproximadamente, é obtida com goma-guar, pectina, psílio, fibras de aveia e β -glucana com doses de 3 g/dia a 15 g/dia. O efeito é mais acentuado em pessoas com elevado nível de colesterol sanguíneo.

2.2.6 Fibras insolúveis

Essas fibras permanecem praticamente intactas em todo o trato gastrintestinal, diminuem o tempo de trânsito no intestino, aumentam o bolo fecal e tornam as fezes mais macias, diminuindo a constipação e tendo, assim, efeito positivo sobre alguns males, tais como hemorróidas, varizes e diverticulite.

Estão presentes principalmente nos cereais (farelo de trigo, cereais matinais e pães integrais), frutas maduras e vegetais (brócolis, feijões verdes, brotos), entre outros. Conforme apresentado na Tabela 5, a celulose, a lignina e parte das hemiceluloses são exemplos de fibras insolúveis. Elas captam pouca água e formam misturas de baixa viscosidade. Na planta, à medida que ocorre a maturação, a quantidade de lignina aumenta e ocorre perda progressiva

de água (MÁRQUEZ, 2004). A intensidade de lignificação afeta acentuadamente a digestibilidade da fibra. A lignina que aumenta na parede celular do vegetal no decurso do amadurecimento é resistente à degradação bacteriana e o seu conteúdo em fibra reduz a digestibilidade dos polissacarídeos fibrosos (HERNANDEZ; HERNANDEZ; MARTINEZ, 1995).

2.2.8 Propriedades fisiológicas das fibras alimentares

Os diferentes tipos de fibras diferenciam-se entre si por sua composição e suas propriedades físico-químicas. Essas propriedades são determinadas, em geral, *in vitro* e somente servem para fornecer uma idéia de seu comportamento *in vivo*, visto que nesses meios estão submetidas a um ambiente fisiológico muito complexo e a uma série de mecanismos que podem modificá-las (TODD, 1990).

O sistema enzimático humano não é capaz de digerir as diferentes substâncias que compõem as fibras alimentares (MÁRQUEZ, 2001).

A fibra alimentar passa pelo intestino, no qual desenvolve a sua capacidade de hidratação e adsorção de diversas substâncias orgânicas e inorgânicas. Essas substâncias podem simplesmente permanecer incluídas no interior da estrutura química da fibra, ou seja, “fixadas” por ligações químicas na fibra, como compostos protéicos, vitaminas ou minerais; carboidratos ou lipídios (MARQUEZ, 2001).

Todas as fibras alimentares chegam ao intestino grosso de forma inalterada. Ao contrário do que ocorre com as enzimas digestivas humanas no intestino delgado, as bactérias do cólon, com suas numerosas enzimas de grande atividade metabólica, podem digerir a fibra em maior ou menor grau, dependendo da sua composição química e da sua estrutura (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

Do ponto de vista da fermentação bacteriana, as fibras podem ser subdivididas em duas categorias: pouco fermentáveis (fibras ricas em celulose e lignina); e muito fermentáveis (ricas em hemicelulose, pectinas, FOS), que são fermentadas e degradadas rapidamente pela biota existente no cólon (CAMPBELL; FAHEY; WOLF, 1997).

No processo de fermentação da fibra são produzidos, principalmente, ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e os gases dióxido de carbono (CO₂), hidrogênio (H₂) e metano (CH₄). Esses gases, em sua maioria, são absorvidos pela mucosa intestinal e eliminados posteriormente pela respiração. Somente uma pequena parcela deles é eliminada em forma de flatulência normal (ROLAND et al., 1995).

Os AGCC, produzidos pela fermentação das fibras alimentares, são ácidos graxos voláteis, e 85% são formados por acetato, propionato e butirato, em uma proporção de, respectivamente, 60:25:14. É fato que os AGCC são rapidamente absorvidos e desaparecem da luz intestinal, produzindo um aumento da absorção de sódio e água (EDWARDS; EASTWOOD, 1995).

Os ácidos graxos de cadeia curta são absorvidos pelo epitélio do cólon. Uma vez dentro do epitélio, eles são usados como “combustível” (butirato) ou passam para dentro da veia porta (principalmente acetato e propionato). Os ácidos graxos de cadeia curta são, então, absorvidos e metabolizados pelo fígado e por outros tecidos periféricos.

Roberfroid (1993) sugeriu que o propionato produzido pela fermentação de fibras solúveis também poderia desempenhar um papel ao reduzir a produção de glicose e ao estimular a glicólise.

Muitos efeitos adicionais são consequência da fermentação no cólon, que gera produtos finais fisiologicamente ativos (AACC, 2001).

Existem evidências cada vez maiores de que a fermentação das fibras contribui para muitos efeitos fisiológicos, sendo os ácidos graxos de cadeia curta responsáveis por:

- a) fornecer energia ao hospedeiro, o que é benefício em caso de má absorção (DE SCHRIJVER, 1996);
- b) diminuir de forma benéfica o pH intraluminal e a concentração de amônia e uréia (DE SCHRIJVER, 1996; ROBERFROID, 1993);
- c) intensificar a absorção de sódio e água, o que é benéfico em caso de diarreia (SILK, 1993);
- d) modular a mobilidade gastrointestinal (ROBERFROID, 1993);
- e) estimular o desenvolvimento de células epiteliais do íleo e do cólon (SAKATA, 1987);
- f) proteger contra o câncer do cólon pelo butirato (ROEDIGER, 1996); e
- g) atuar de forma benéfica sobre a homeostase da glicose e metabolismo dos lipídios, possivelmente através de uma ação sistêmica do acetato e do propionato no fígado e em outros tecidos (ROBERFROID, 1993).

Além do tipo de fibras, a composição da microbiota desempenha um importante papel na determinação da extensão da fermentação. Muitas espécies de bactérias, atuando em cooperação, são responsáveis pela hidrólise e pela fermentação das fibras. Elas pertencem a vários gêneros, incluindo *Bacteróides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium* e *Lactobacillus* (DE SCHRIJVER, 1996).

Elas protegem contra espécies bacterianas invasivas e patogênicas ao secretar substâncias antibacterianas, competindo por locais de substrato ou aderência ou estimulando o sistema imunológico.

Várias bactérias putrefativas e potencialmente patogênicas, tais como *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile* e *Escherichia coli*, podem chegar ao cólon e liberar enzimas proteolíticas e subprodutos tóxicos. Tais bactérias podem causar infecção e diarreia, e aumentar o risco de câncer (AACC, 2001).

As bifidobactérias liberam altos níveis de ácido lático, que abaixa o pH do cólon, refreia as bactérias nocivas e ajuda o hospedeiro a eliminar a amônia tóxica. As bifidobactérias também produzem vitaminas, principalmente as do complexo B (BENGMARK, 1999).

Logo, a fermentação das fibras proporciona benefícios fisiológicos ao promover uma biota intestinal saudável e equilibrada.

2.2.9 Recomendações de consumo

A fibra alimentar é utilizada não apenas para corrigir a constipação, mas também pelo fato de que forma gel no estômago e aumenta seu volume em mais de sete vezes, o que se traduz por uma sensação de saciedade e subsequente redução da ingestão (MÁRQUEZ, 2001).

A quantidade de fibras difere de um alimento para outro. A maior concentração de fibras é encontrada em farelos, arroz integral e frutas. Há alternativas de complementação e balanceamento da dieta com fibras, nas quais são utilizadas fibras sintéticas e produtos à base de fibras, como biscoitos, pães e barras de cereais (MARTINS, 1997).

As recomendações dietéticas para o consumo diário de fibras são em torno de 20-40 g ao dia, dos quais aproximadamente 70% devem ser insolúveis e 30% solúveis (STELLA, 2004).

A American Dietetic Association (1988) recomenda que o consumo mínimo de fibras fique em torno de 20 g a 35 g por dia. O National Cancer Institute recomenda ingestão diária de fibras de 25 g a 35 g ou de 10 a 13 g/1.000 Kcal.

No Brasil, a média *per capita* de consumo de fibras é de aproximadamente 20 g por dia. Um estudo recente mostrou que a maioria da população consome grãos integrais (LOURENÇO, 2004). Nos EUA, ingestão de 20-30 g/dia de fibras dietéticas é recomendada, e a média americana de consumo é cerca de 5% a 13%.

Mattos e Martins (2000) pesquisaram o consumo de fibras alimentares na dieta habitual numa população de 559 indivíduos com idades entre 20 e 88 anos do município de Cotia, SP, Brasil. Com base na porção média, os alimentos foram classificados quanto ao conteúdo de fibras como: muito alto (7 g ou mais), alto (4,5 g a 6,9 g), moderado (2,4 g a 4,4 g) e baixo (< 2,4 g). O consumo médio diário da população foi de 24 g de fibras totais, sendo as quantidades médias de fibras insolúveis e de solúveis 17 g e 7 g, respectivamente. O consumo de fibras alimentares entre mulheres e homens foi, respectivamente, 20 g e 29 g ($p < 0,01$). A maioria dos alimentos presentes na dieta continha baixo teor de fibras (arroz, macarrão), sendo o feijão o único classificado na categoria de “muito alto” teor de fibras.

De acordo com a Academia Nacional de Ciências dos EUA, o consumo de fibras deve ser de 38 g/dia e de 25 g/dia para homens e mulheres adultos com 50 anos ou menos, respectivamente, e de 30 g/dia e de 21 g/dia para homens e mulheres adultos com mais de 50 anos, respectivamente. Assim, o estudo descrito revela o baixo consumo de fibras alimentares pela população estudada, com diferenças estatísticas significativas entre os sexos.

Para alcançar essa quantidade diária, faz-se necessário aumentar o consumo de legumes, cereais, frutas e verduras, e, se necessário, complementar com um produto rico em fibras para prevenir o aparecimento de numerosas enfermidades gastrintestinais e metabólicas.

2.3 Frutanos

2.3.1 Definição e ocorrência dos frutanos

Os frutanos são reconhecidos como uma classe de carboidratos vegetais há 200 anos e, depois do amido e da sacarose, são os polissacarídeos não estruturais de maior ocorrência entre as plantas (RIBEIRO, 1993).

Estão presentes em cerca de 15% de toda a microbiota contemporânea, especialmente em plantas de ordens consideradas mais evoluídas, indicando que pode haver um significado evolutivo em seu aparecimento relacionado à redução de água no ambiente, sazonalidade e resistência ao frio (HENDRY, 1993).

2.3.2 Estrutura química

São polímeros de frutose relacionados estrutural e metabolicamente com a sacarose. Consistem de séries homólogas de oligossacarídeos e de polissacarídeos não redutores, cada

um contendo um resíduo a mais de frutose que o membro anterior da série, de forma que o frutano mais simples é um trissacarídeo (RIBEIRO, 1993). Podem ser lineares ou ramificados, conforme demonstrado na Figura 7 (CAPITO, 2001; QUINTEROS, 2000).

Os frutanos podem ser classificados, de acordo com a sua estrutura (Figura 7), em três grupos, que são baseados, respectivamente, nos compostos 1-cestose, 6-cestose e neocestose: frutanos de ligações $\beta(2\rightarrow1)$ ou inulinas, encontrados em alcachofra-de-jerusalém e tubérculos de dália; frutanos de ligações $\beta(2\rightarrow6)$ ou fleanos, presentes em algumas forrageiras, como *Phleum pratense* e *Festuca aundinaceae*; frutanos altamente ramificados com ligações $\beta(2\rightarrow1)$ e $\beta(2\rightarrow6)$; oligômeros de frutanos presentes em outras forragens, como *Triticum aestivum* e *Hordeum vulgare*; e frutanos da série neocestose de ligações $\beta(2\rightarrow1)$, como aqueles encontrados em *Asparagus* e *Allium* (NINESS, 1999).

A inulina e o FOS não têm uma composição química definida. Eles são uma mistura de frutanos de diferentes tamanhos, e a diferença entre o FOS e a inulina está no número de moléculas de frutose que compõem essas cadeias. A inulina tem de 2 a 60 cadeias, enquanto na FOS são menores as quantidades, de 2 a 10 cadeias (NINESS, 1999).

Pelo fato de que moléculas de frutose unem-se em um único enlace $\beta(2\rightarrow1)$, estes frutanos adquirem uma conformação espacial semelhante a cadeias lineares, o que permite afirmar que o FOS é um subgrupo da inulina. Por esse motivo muitos autores se referem ao FOS do tipo inulina para se referir com maior precisão à natureza dos açúcares presentes na yacon (GOTO et al., 1995).

Os frutanos do tipo inulina e oligofrutose são amplamente distribuídos na natureza, presentes em cerca de 36 mil espécies vegetais. Estima-se que o consumo de FOS de fontes naturais é de aproximadamente 13,7 mg por quilograma ao dia ou de 806 mg ao dia (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Quando ingeridos pelo homem, os frutanos atingem o cólon, onde são fermentados pela microbiota, composta principalmente de bifidobactérias. Pela ação dessas bactérias, são liberados ácidos graxos de cadeia curta (*short chain fatty acids*, SCFA) como ácido acético, propiônico e butírico; além de CO_2 , CH_4 e H_2 (WANG; GIBSON, 1993). Com a produção de ácidos de cadeia curta, a absorção de cálcio, ferro e magnésio é facilitada. Com 15 g de FOS por dia, a absorção de Ca^{++} é aumentada em 10,8% em humanos (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

Existem produtos comerciais como *Neosugar*® (*Meiji Seika*, Co, Japão), *Actilight*® (EBS, França) e *Raftilose*® (Orafti, Bélgica) que são misturas de FOS, de sabor global menos doce que a sacarose (QUINTEROS, 2000).

Os frutanos com DP elevado ($DP > 10$) não são doces tal como acontece com os produtos comerciais *Raftiline*® (Orafti, Bélgica), *Frutafit*® e *Fibruline*® (COSUCRA, Bélgica). No caso, esses produtos não são usados como adoçantes, mas como substitutos de gordura (GORDON; BOCALETTI; ORELLANA, 1995), como fibra alimentar ou como agentes que dão volume e corpo aos alimentos manufacturados.

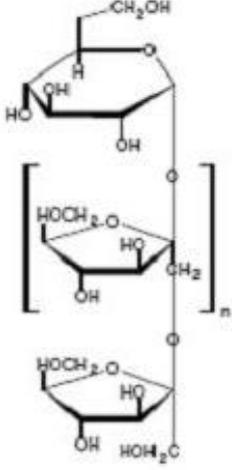
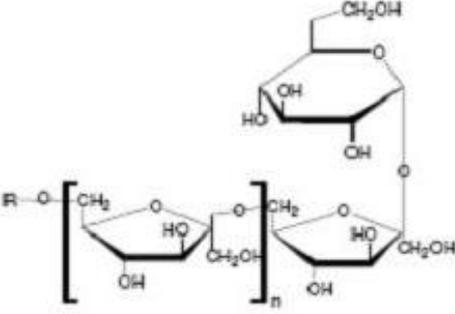
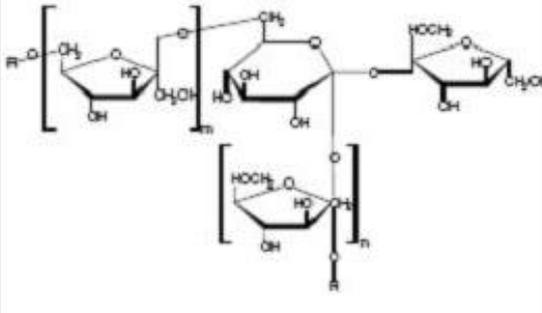
TIPO	ESTRUTURA
INULINA	
LEVANO	
GRAMINANO	

Figura 7. Classificação dos frutanos segundo a estrutura química

Fonte: Quinteros (2000).

2.4 Frutoligossacarídeos

2.4.1 Considerações gerais

Os frutoligossacarídeos (FOS) são encontrados como componentes de ocorrência natural. Sua biosíntese ocorre amplamente na natureza; pode ser encontrado em quantidades expressivas em cebola, banana, alcachofra, alho, raízes de almeirão e beterraba (GIBSON; ROBERFROID, 1995; HATERMINK; VANLAERE; ROMBOUITS, 1997), e também na raiz da yacon (GOTO et al., 1995).

Nos últimos anos, a utilização de FOS como ingrediente alimentar tem crescido consideravelmente pelas características de fibra que possuem, sendo imperceptíveis no gosto e nas propriedades organolépticas (NINESS, 1999).

Muitas preparações, como bebidas lácteas, doces, balas, sobremesas e geléias, principalmente as fabricadas no Japão, apresentam FOS em sua formulação (TANAKA; MATSUMOTO, 1998).

O crescente interesse pelos FOS advém do fato de que esses compostos não são digeridos pelo organismo humano (MOLIS, 1996) e, portanto, são resistentes às enzimas digestivas. Conseqüentemente, chegam ao intestino grosso intactos e podem ser fermentados pelas bactérias anaeróbicas presentes no cólon (ROBERFROID, 1999).

São chamados de “açúcares não convencionais” e têm tido impacto na indústria de alimentos devido às suas excelentes características funcionais (SPIEGEL; ROSE; KARABELL, 1994).

A ingestão média diária *per capita* de FOS é de 2-4 g para americanos e de 2-12 g para europeus (GIBSON; WILLIS; VAN LOO, 1994).

2.4.2 Estrutura química

Quimicamente, os FOS são formados por oligômeros de frutose, que são compostos de 1-cestose, nistose e frutofuranosil nistose, em que as unidades de frutosil são ligadas na posição $\beta(2\rightarrow1)$ da sacarose, o que os distingue de outros oligômeros (YUN, 1996). É esse tipo de ligação que lhe confere a resistência à digestão ou hidrólise digestiva (FAGUNDES; COSTA, 2003).

A síntese desses compostos nas plantas inicia-se a partir da transferência de uma unidade de frutose entre duas moléculas de sacarose, portanto alguns FOS possuem uma molécula de glicose na extremidade da cadeia (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

O grau de polimerização (DP) é definido pelo número de unidades de monossacarídeos e é usado para definir e classificar as moléculas de FOS e inulina. Os FOS apresentam um DP < 10, enquanto a inulina apresenta um DP de 2 a 60 (SPIEGEL; ROSE; KARABELL, 1994; YUN, 1996).

2.4.3 Obtenção industrial de frutoligossacarídeos

Do ponto de vista de obtenção industrial para fins comerciais, os FOS podem ser divididos em dois grupos:

- a) obtido a partir da inulina: por hidrólise enzimática controlada de moléculas de inulina, utilizando a enzima inulinase. Esse processo é utilizado para a obtenção do produto chamado *Raftilose*[®] (Orafti Ltda., da Bélgica), ou como *Frutafit*, produzido pela Imperial-Suikner Unie, da Holanda. O DP desses produtos varia de 1 a 7 unidades de frutossil (BORGES, 2001); e
- b) obtido por reação enzimática de transfrutossilagem em resíduos de sacarose, através da ação da enzima β -frutofuranosidase. Os FOS formados a partir dessa atividade enzimática contêm DP entre 2 e 4 unidades de frutossil unidas por ligações $\beta(2-1)$, com um resíduo de glicose terminal. Esse FOS é produzido no Japão e comercializado como *Neosugar*, *Meioligo* e *Nutraflora* (Meiji Seika Co.) Na Europa é produzido e comercializado o *Actilight* pela Beghin Meiji Industries (HARTEMINK; VANLAERE; ROMBOOTS, 1998).

Segundo o relatado por Yun (1996), reações enzimáticas para a obtenção industrial de FOS dependem de enzimas originárias das plantas (aspargo, cebola, beterraba), os das originadas de microrganismos (*Aspergillus* sp, *Aureobalidium* sp, *Fusarium* sp).

2.4.4 Propriedades químicas e físico-químicas

É importante distinguir os conceitos entre a inulina e o FOS, pois suas propriedades físicas e aplicações em processos da indústria alimentícia são bastante diferentes. Alguns exemplos podem ajudar a compreender melhor essa importância. A inulina quase não tem sabor doce, sua consistência especial e sua baixa solubilidade em água a tornam um

ingrediente substituto excelente para gorduras, principalmente na formulação de sorvetes (ZULETA; ZAMBUCETI, 2006).

As diferenças no tamanho das cadeias da inulina e dos FOS são também responsáveis pelas diferenças entre suas propriedades. A inulina é menos solúvel, possui cadeias longas (DP até 60) e possui capacidade de formar microcristais quando misturada com água e leite (GIBSON, WILLIS; VAN LOO, 1994). Esses microcristais formam uma mistura cremosa que dá a sensação de presença de gordura (NINESS, 1999).

Os FOS, por sua vez, possuem cadeias curtas (DP de 2 a 9), são altamente higroscópicos e a capacidade de retenção de água deles é superior à da sacarose e similar à do sorbitol (DREVON; BORNET, 1994). São carboidratos não redutores e por isso não participam nas reações de Maillard (DREVON; BORNET, 1992).

Essas fibras alimentares são altamente estáveis, suportam pH acima de 3 e temperatura superior a 140 °C (BORNET, 1994). Quanto à solubilidade em água, atingem 80% a 25 °C. Também são solúveis em etanol a 80%, pH 2 e 0 °C, diferentemente de outros polissacarídeos (QUINTEROS, 2000; VAN LOO et al., 1998).

Os FOS são ingredientes alimentares ideais para a indústria de alimentos, por terem aplicação em várias áreas, sendo indicado o seu uso em formulações dietéticas como sorvetes, cremes vegetais, patês e sobremesas, adicionados em barras de cereais e biscoitos para elevar o conteúdo de fibras alimentares, e também em bebidas lácteas e leites fermentados (BORNET, 1994).

A utilização de FOS com sucesso na indústria de alimentos se deve ao fato de que são possuidores de inúmeras propriedades como resistir a processos térmicos (pasteurização); ser considerado isento de calorias (1-1,5 Kcal por grama); não ser cariogênico; não cristalizar e não precipitar ou deixar sabor residual (MOLIS, 1996; YUN, 1996).

Como fibras alimentares, são ideais, pois podem ser adicionados a qualquer tipo de alimento, não acrescentam sabores ou alteram a viscosidade do produto final, resistem à digestão, mas são rapidamente fermentadas pelas bactérias presentes no cólon, apresentam alta dispersão em água e atuam aumentando o bolo fecal e reduzindo a incidência de constipação (PROSKY; HOEBREGS, 1999; SCHNEEMAN, 1999).

Estudo recente (HONDO et al., 2000) indica a possibilidade de produção de vinagre de yacon contendo FOS contidos na própria yacon.

Há também a possibilidade da suplementação de alimentos infantis com FOS de alto peso molecular com o intuito de facilitar o trânsito intestinal de recém-nascidos (MORO et al., 2002).

Os FOS podem ser usados em outros tipos de indústria que não sejam as de alimentos (YUN, 1996), como em produtos alimentares para animais (STRICKLING et al., 2000).

2.4.5 Benefícios dos frutoligossacarídeos para a saúde humana

A literatura tem demonstrado que há provas das propriedades funcionais dos FOS como redução dos níveis de colesterol e do teor de glicose sanguíneos, redução na pressão sanguínea e melhor absorção do cálcio e do magnésio (PEREIRA; GIBSON, 2002; COUNDRAY et al., 2003).

2.4.6 Efeitos dos frutoligossacarídeos como pré-bióticos

Os FOS não são digeridos pelo trato gastrointestinal humano, e ao chegarem ao cólon estimulam benéficamente o crescimento e o fortalecimento de bactérias específicas presentes no intestino (GIBSON et al., 1995). As bifidobactérias secretam a β -frutosidase, que seria a enzima responsável pela hidrólise dos FOS (ROBERFROID, 1993).

Gibson et al. (1995) constataram as características bifidogênicas dos FOS em humanos. Após a suplementação de 15 g por dia, as contagens médias de bifidobactérias aumentaram, enquanto houve uma redução significativa de bacteróides, fusobactérias e *Clostridium* sp. Na conclusão dos autores, haveria um aproveitamento maior desses compostos pelas bifidobactérias e, portanto, ocorreriam mudanças no ecossistema colônico, desfavoráveis às bactérias nocivas.

O mecanismo pelo qual há a inibição de microrganismos patogênicos (exógeno ou endógeno) se explica pela redução do pH no lúmen intestinal, que é consequência da formação de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) pela fermentação dos FOS (ROBERFROID, 1993; WANG; GIBSON, 1993).

Com a diminuição no número de bactérias nocivas como *Escherichia coli*, *Clostridium*, *Streptococcus faecalis* e *Proteus*, há conseqüentemente a diminuição de metabólitos tóxicos como amônia, indol, fenóis e nitrosaminas, substâncias estas que são tóxicas ou carcinogênicas (CUMMINGS; MACFARLANE; ENGLYST, 1993).

Modler (1994) verificou que a adição de *Neosugar*® à dieta humana (15 g/dia) causou um acréscimo de 10 vezes na população de bifidobactérias do intestino grosso, bem como a ocorrência de bifidobactérias passou de 87% para 100%. Concomitantemente, houve redução de 0,3 unidade no pH intestinal e também um decréscimo na contagem de enterobactérias. Em

estudo similar, Hidaka e Hirayama (1991) verificaram que, administrando 8 g/dia de *Neosugar*® à dieta humana, aumentaria a produção de ácidos graxos.

Uma série de aspectos benéficos tem sido atribuída as bifidobactérias. Wang e Gibson (1993) destacam algumas:

- a) são imunomoduladoras contra células malignas;
- b) produzem vitaminas do complexo B e ácido fólico;
- c) produzem enzimas digestivas e a lisozima; e
- d) restauram a biota intestinal normal após antibioticoterapia;

No tocante à dose bifidogênica de FOS, autores como Roberfroid, Van Loo e Gibson (1998) afirmam que cerca de 4 g por dia seriam suficientes para um adulto.

Bouhnik (1996) demonstrou que a ingestão de FOS em doses de 12,5 g/dia por três dias (doses clinicamente toleradas) produziu efeitos significativos de queda na contagem de anaeróbios totais nas fezes, queda de pH, atividade de nitrorredutases e queda nas concentrações de bile ácida e nos níveis séricos de colesterol total e lipídios.

2.4.7 Efeitos na carcinogênese e na resposta imune

Modelos *in vivo* envolvendo ratos têm demonstrado uma significativa influência favorável dos FOS na inibição da carcinogênese do cólon. Reddy, Hamid e Rao (1997) induziram lesões pré-cancerosas em ratos usando azozimetano e, em seguida, alimentaram os ratos com dietas contendo 10% de FOS. Como resultado, houve uma redução significativa das lesões.

Taper et al. (1999) implantaram células tumorais de dois tipos (hepáticas e mamárias) em ratos e, na seqüência, os trataram com 150 g/kg de FOS. Os resultados demonstraram uma redução no crescimento dos tumores, quando comparados com um placebo.

Taper, Delzenne e Tshilombo (1995) concluem em seus estudos que os FOS agem por sua ação redutora da glicose, e as células tumorais são assim prejudicadas em seu aporte de energia e não conseguem se desenvolver. Outro mecanismo de ação dos FOS na inibição do crescimento tumoral ocorreria via formação de ácidos graxos de cadeia curta, mais precisamente pelo aumento da formação do butirato, que é considerado um agente antineoplásico em potencial (GAMET et al., 1992).

Alguns estudos têm demonstrado que ratas alimentadas com FOS têm produção diminuída de certos metabólicos associados ao câncer (BUDDINGTON; DONAHOO; BUDDINGTON, 2002; ROWLAND et al., 1998).

Reddy, Hamid e Rao (1997) observaram que, depois de usar um químico mutagênico específico, a formação de focos de colônia aberrantes ligadas ao câncer do cólon se produzia em menor quantidade nas ratas que haviam sido alimentadas com FOS.

Pierre et al. (1995) mostraram uma redução na taxa de formação de tumores no intestino delgado e no cólon depois de consumir FOS junto com a dieta, resultados confirmados recentemente por Buddington, Donahoo e Buddington (2002).

Há evidências em estudos com animais que os probióticos têm um efeito regulador no sistema imunológico e suspeita-se que também em humanos isso poderá acontecer (ERICKSON; HUBBARD, 2000; WOLD, 2001).

2.4.8 Efeito no metabolismo dos lipídios

Delzenne et al. (1993) relataram o decréscimo dos triacilgliceróis no sangue de ratos alimentados com dietas contendo 20% de FOS e 10% de inulina do total da dieta diária, corroborando resultados propostos por Fiordaliso et al. (1995), que observaram uma redução de 15% nas taxas de colesterol total, 15% dos fosfolipídios e 25% nos triacilgliceróis em ratos após a ingestão de 10% de FOS.

Os efeitos hipolipidêmicos dos FOS foram observados também em humanos. Davidson et al. (1998) conduziram um experimento em sujeitos com níveis de lipídios levemente alterados no sangue e verificaram uma diminuição de 8,7% na concentração de colesterol total e de 14,4% na concentração de LDL-colesterol após a ingestão de 18 g por dia de inulina.

Van Loo et al. (1998) ressaltaram a existência de evidências suficientes sobre a modulação lipídica em animais, porém destacaram a necessidade de estudos em humanos utilizando modelos experimentais adequados.

2.4.9 Efeitos na absorção de minerais

As evidências apontam para uma maior absorção de cálcio em humanos, acompanhado de um aumento da densidade da massa óssea, o que pode indicar que o consumo de FOS reduz o risco de osteopenia e osteoporose (VAN LOO et al., 1998).

Van Den Heuvel et al. (1999) conduziram estudos *in vivo* com jovens que receberam 15 g por dia de inulina e observaram um aumento na absorção de cálcio. O aumento da absorção mineral parece estar relacionado com o tipo e a quantidade de FOS e minerais

presentes na dieta. Os autores concluem que há necessidade de outros estudos que confirmem esse efeito.

2.4.10 Outros efeitos dos frutoligossacarídeos

Taper et al. (1995) verificaram que os FOS possuem um efeito protetor contra a atrofia induzida por deficiência de cobre ou excesso de frutose. Younes et al. (1996), em estudos com ratos, determinaram que uma mistura de fibras, incluindo FOS, reduz a taxa de uréia no soro sanguíneo, via excreção fecal de uréia. Os efeitos seriam devidos à conversão do NH_3 a NH_4^+ , menos tóxico (JENKINS; KENDALL; VUKSAN, 1999).

Os FOS têm ação de imunomoduladores via bifidobactérias, auxiliando no ataque imunológico contra células malignas ou bactérias putrefativas resistência adquirida do hospedeiro contra fungos patógenos (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

2.4.11 Frutoligossacarídeos da yacon e a saúde humana

A evidência dos efeitos benéficos que a yacon poderia ter sobre a saúde humana ainda é indireta, provém de estudos realizados com frutanos purificados da chicória ou sintéticos. Pode-se apenas inferir que a yacon compartilha das mesmas propriedades descritas em estudos realizados com FOS da chicória (LOPEZ; COUDRAY; LEVRAT-VERNY, 2000; YAMAMOTO, 1999).

Como até agora os estudos têm sido apenas em animais, faz-se necessário validar os resultados com estudos clínicos em humanos (BRADY; GALLAHER; BUSTA, 2000; CONWAY, 2001).

2.4.12 Valor calórico

Os FOS apresentam cerca de um terço do poder adoçante da sacarose e não são calóricos; não podem ser considerados carboidratos ou açúcares, nem fonte de energia, mas podem ser usados de modo seguro por diabéticos.

Flamm et al. (2001) avaliaram o valor calórico e encontraram que o rendimento de energia para o hospedeiro estaria na faixa de 1,5 Kcal/g a 2,0 Kcal/g. Usando outra metodologia, baseada no balanço da lipogênese, Roberfroid, Gibson e Delzenne (1993) concluíram que o valor calórico dos FOS está em torno de 1 Kcal/g a 1,5 Kcal/g.

Os FOS não são degradados durante a maioria dos processos de aquecimento, mas podem ser hidrolisados em frutose em condições muito ácidas e em condições de exposição prolongada do binômio tempo e temperatura (YUN, 1996).

Os FOS possuem características que permitem sua aplicação em várias áreas; têm solubilidade maior que da sacarose, não cristalizam, não precipitam, nem deixam sensação de secura ou areia na boca (BORNET, 1994).

2.4.13 Toxicidade

Numerosos estudos têm sido conduzidos para avaliar a toxicidade dos FOS; *in vitro* e *in vivo*, tanto em animais quanto em humanos (TOKUNAGA; OKU; HOSOYA, 1986).

Os estudos *in vitro* para determinar o potencial tóxico em animais incluíram o teste de mutação microbiana reversa, o teste de mutação de genes e o teste de síntese não programada de DNA. Os testes não evidenciaram qualquer potencial genotóxico ou carcinogênico, nem toxicidade subcrônica (CLEVENGER et al., 1988).

Porém, Alles et al. (1997) e Davidson et al. (1998) observaram sintomas de flatulência em sujeitos que consumiram dietas contendo 15 g por dia e 18 g por dia, respectivamente.

Como *status legal*, os FOS são considerados ingredientes, e não aditivos alimentares, na maioria dos países. São fibras dietéticas, confirmadas pelas autoridades legais em vários países, e nos Estados Unidos possuem o *status GRAS* (*generally recognized as safe*) (KOLBYE et al., 1992).

A sua ingestão pode estar associada à flatulência, o que se torna mais flagrante em indivíduos que possuem intolerância à lactose. A gravidade desse tipo de sintoma está associada à dose de FOS consumida, isto é, quanto menos FOS, menos sintomas. A ingestão de 20-30 g por dia geralmente desencadeia o início de um desconforto severo no indivíduo, sendo o ideal seguir as doses recomendadas (10 g/dia). Somente pessoas muito sensíveis (1% a 2% da população) sofrem diarreia ou intolerância gastrointestinal com doses de 10 g/dia (COUSSEMENT, 1999).

O consumo médio *per capita* de inulina na dieta europeia varia de 2 g/dia a 12 g/dia. Na Bélgica esse valor fica em torno de 5-8 g/dia, e é 7-12 g/dia na Espanha (MODLER, 1994).

2.5 Processamento de Pães

Pão é o produto obtido basicamente pela cocção de farinha de trigo ou de outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, fermento biológico e sal, podendo conter também outros ingredientes (ANVISA, 2003).

Osaka (2002) afirma que, no Brasil, são consumidos em média 27 kg de pães por ano/habitante. Isso corresponde a menos da metade recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A recomendação é de 60 kg por ano/habitante.

O processamento do pão pode ser dividido em operações básicas: formação da massa, fermentação e cocção (HOSENEY, 1990).

A composição da farinha de trigo utilizada no preparo de massas se altera de acordo com a variedade do trigo e o seu grau de extração. O grão de trigo é comumente classificado como: trigo duro ou forte; trigo semiduro; trigo mole ou fraco; e trigo durum. A principal diferença entre eles reside na indicação de seu uso para determinado tipo de produto (GRISWOLD, 1972).

2.5.1 Principais ingredientes

A farinha de trigo é o principal ingrediente da massa do pão, tendo a função de fornecer as proteínas formadoras de glúten. Essas proteínas, ao se combinarem com a água, são hidratadas, gerando pontos de ligação entre elas e, mediante a batidura, formam a estrutura elástica da rede de glúten (EL-DASH; GERMANI, 1994).

As quantidades dos demais ingredientes são calculadas sobre a quantidade total de farinha, que corresponde a uma base de 100%. Os diferentes tipos de farinha devem ser utilizados de acordo com as características desejadas no produto final. A farinha do tipo duro é especialmente indicada para o preparo do pão, devido à grande quantidade e à boa qualidade de glúten. A farinha obtida do trigo durum tem alto teor protéico, porém baixas características tecnológicas para a produção de pães, entretanto é adequada para produção de pastas alimentícias como o macarrão. O trigo mole tem baixo conteúdo de proteína e é adequado para a produção de bolachas (VITTI, 1988).

A água exerce funções de formação do glúten e é importante para dissolver o fermento e demais ingredientes, sendo necessária também para hidratar o amido e conferir frescor,

suavidade e durabilidade ao pão (EL-DASH; GERMANI, 1994). A quantidade de água a ser adicionada varia principalmente com a capacidade de absorção da farinha utilizada, que geralmente está entre 55% e 65 % (EL-DASH; GERMANI, 1994).

O açúcar presente na massa é proveniente de uma ou mais fontes: açúcar resultante da degradação do amido pelas enzimas amilases; e açúcar adicionado na formulação (EL-DASH; GERMANI, 1994).

Atua no processo de fermentação, onde o gás carbônico formado, primeiramente, dissolve-se na água até a sua saturação e logo permanece livre, retido na malha de glúten, fazendo crescer a massa. Também são produzidos ácidos e substâncias voláteis e álcoois, que conferem o aroma e o sabor ao produto (QUAGLIA, 1991).

Outra função do açúcar é a de proporcionar a cor dourada característica da crosta dos pães, devido à caramelização do açúcar (reação de Maillard), bem como distribuir o aroma e o sabor ao produto final (EL-DASH; GERMANI, 1994).

Portanto, o açúcar contribui para a doçura e o volume, aumenta a maciez, desenvolve cor agradável na crosta, age como veículo para outros aromas, ajuda na retenção de umidade e proporciona acabamento atrativo (QUAGLIA, 1991).

Tanto a gordura vegetal como a animal podem ser empregadas na panificação com importantes funções de melhorar as propriedades de expansão da massa, ajudar a massa a reter gases, aumentar o volume do pão, contribuir para um miolo de textura mais suave, produzir uma crosta mais fina e macia, aumentar o tempo de conservação dos pães e aumentar o valor calórico do pão (EL-DASH; GERMANI, 1994).

Os fermentos são grupos de microorganismos encontrados praticamente em todos os lugares na face da terra. O fermento usado na panificação é oriundo do grupo *Saccharomyces cerevisiae* (DE BONA, 2002).

A levedura metaboliza açúcares sob condições anaeróbias, produzindo gás carbônico (CO₂). Este, por sua vez, confere à massa e ao pão a estrutura porosa responsável pela leveza e pelo volume, e o álcool produzido contribui para a expansão da massa durante o seu assamento e é responsável por grande parte do aroma do pão (HOSENEY, 1994).

O sal interage na formação da rede de glúten e controla a fermentação por osmose na célula da levedura. A quantidade varia, mas geralmente fica em torno de 2% sobre a quantidade da farinha, fornecendo sabor agradável (WILLIANS; PULLEN, 1998).

Vários tipos de fibras podem ser acrescentados aos produtos panificados, na forma de farinhas integrais de sementes (trigo, aveia, centeio, milho, soja, aveia, cevada, girassol, linhaça, arroz, sorgo) ou fibras isoladas de frutas e outros vegetais (maçã, pêra, uva). Além do

aspecto nutricional, as fibras apresentam, em sua maioria, custo baixo e são facilmente encontradas comercialmente. Os pães de centeio, integral e de baixa caloria fazem parte da dieta do brasileiro (POMERANZ, 1987).

Os principais critérios para a aceitação de alimentos enriquecidos com fibras alimentares são: bom comportamento no processamento; bom padrão de estabilidade e aparência; e satisfação no aroma, na cor, na sensação deixada pelo alimento na boca e na textura (THEBAUDIN; LEFEBVRE, 1997).

A pesquisa realizada por Monro e Burlingame (1996) mostra os tipos de carboidratos, de fibras alimentares e seus componentes. Afirmam que é de fundamental importância o conhecimento de bases de dados de carboidratos e fibras, bem como suas diferentes classificações.

Existem diferentes tipos de fibras alimentares na natureza, comumente separadas em duas classes, dependendo de sua solubilidade em água: insolúveis e solúveis (FIBRAS, 1999). Ambas possuem benefícios diferentes à saúde e deveriam ser consumidas diariamente (MARTINS, 1997); não são absorvidas pelo intestino delgado, chegando ao intestino grosso sem se degradar (FARIAS, 2004). Alguns alimentos possuem um só tipo de fibra, outros possuem uma mistura dos dois tipos de fibras (MARTINS, 1997).

Quando as fibras são adicionadas em uma formulação, é freqüentemente necessária a mudança de quantidades de algum ingrediente (THEBAUDIN; LEFEBVRE, 1997). No Brasil, quase todas as matérias-primas ricas em fibras são comercializadas pelo aspecto “funcionalidade” e não pelo “apelo nutricional” (FIBRAS, 1999).

As fibras insolúveis proporcionam uma textura firme a alguns alimentos, como o farelo de trigo e as hortaliças. Ingerir alimentos ricos em fibras insolúveis auxilia no seu processo natural de eliminação. Por promover uma melhor regularização, auxiliam no tratamento ou prevenção da obstipação, hemorróidas, doença diverticular, câncer e outros problemas intestinais (VIRTUARTE, 2002; FARIAS, 2004). Fibras insolúveis são utilizadas, em especial, para benefícios nutricionais, mas algumas podem, também, ser usadas pelas suas propriedades tecnológicas (DE SÁ; DE FRANCISCO, 2000).

Os ingredientes ricos em fibras são avaliados em diferentes formas e provenientes de várias origens botânicas. Podem possuir diferenças estruturais e composições químicas diversas, resultando numa série de propriedades nutricionais e tecnológicas (SLAVIN, 2005).

As propriedades tecnológicas das fibras são numerosas e de grande interesse para indústrias de alimentos. Podem ser usadas em formulações de alimentos, resultando na

modificação de textura e na intensificação da estabilidade do alimento durante a sua produção e estocagem (FIBRAS, 1999).

A adição de fibras alimentares em alimentos confere diferentes tipos de benefícios. Seu valor nutricional motiva consumidores a aumentar o consumo de fibras, o que é aconselhado por nutricionistas. Podem também valorizar produtos agrícolas e subprodutos para utilizar como ingredientes (JACOBS; MEYER; SOLVOLL, 2004).

A panificação foi uma das primeiras tecnologias que estudou a incorporação de fibras, entre 1,5% e 2%, aos produtos. A intenção principal era melhorar a maciez dos produtos, aumentando a sua capacidade de retenção de água, os quais podem variar de três a seis vezes o seu peso em água. Com a melhoria da estrutura do miolo e da estabilidade da massa, as fibras aumentam a regularidade do processo e a maquinabilidade, que reflete no volume do pão (FIBRAS, 1999).

Muitos trabalhos têm sido conduzidos para aumentar a quantidade de fibras nos produtos de panificação, biscoitos e barras de cereais com a adição de fibras de cereais, frutas, vegetais e celulose em pó (THEBAUDIN; LEFEBVRE, 1997).

A Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998 – Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar (BRASIL, 1998), estabelece que, para se dizer que um produto é fonte de fibra alimentar em alimentos sólidos, deve conter no mínimo 3 g de fibra/100 g e, para líquidos, 1,5 g de fibra/100 mL. Para se dizer que o produto contém alto teor de fibras alimentares em alimentos sólidos, deve ter no mínimo 6 g de fibra/100 g ou, no mínimo, 3 g de fibra/100 mL para os líquidos.

À massa de pão podem ser acrescentadas inúmeras substâncias alimentícias, que, se bem dosadas, vão enriquecer o valor nutricional, melhorar o sabor e a diversidade de cada produto: glúten, leite e derivados, ovos, frutas secas, verduras e frios picados, coco ralado, etc. (PYLER, 1988).

Nos últimos anos, vem ocorrendo pesquisa intensa na área de ingredientes funcionais, principalmente de culturas probióticas, substratos pré-bióticos, substâncias antioxidantes ou bloqueadoras de radicais livres, isoflavonas, lipídios estruturados, ácidos graxos Ômega-3 e eliminação de ácidos graxos *trans* da dieta. O mercado de panificação acompanha essas tendências, e começam a aparecer, também, os primeiros testes de pães com derivados funcionais de soja, lipídios estruturados, quitosana, fitosteróis, ácido fólico e oligossacarídeos (ARENDRT et al., 2003).

Produtos funcionais hipocalóricos usados na panificação apresentam uma redução ou eliminação de gordura, colesterol, açúcares e sódio, e aumento do teor de fibras no produto

final. Encontram-se no mercado, principalmente americano, produtos *free, light, no fat, no cholesterol and reduced calorie, low fat, high fiber, low calorie*, entre outros, impulsionados pelo crescimento de doenças crônicas relacionadas à obesidade, como hipertensão, e à diabetes, que, nesse país, apresentou de 1990 a 2000 um crescimento de 49%, com projeção de 165% até 2050 (PREPARED FOODS, 2002).

A maioria dos consumidores não adquire, ainda, esses produtos, estimulados pelos benefícios nutricionais, mas indiretamente desejam produtos “mais saudáveis”, “saborosos”, “com qualidade” e “preço acessível”, e mais opções nos casos de restrição alimentar (SANDROU; ARVANITTOYANNIS, 2000).

Os alimentos modificados nutricionalmente devem obedecer ao Padrão de Identidade e Qualidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ALIMENTAÇÃO, 1999) e também atender às normas técnicas referentes à Informação Nutricional Complementar, Portarias nº 27 e 29 (ANVISA, 2003).

Atualmente, são muitas as categorias de substitutos de açúcares simples (sacarose, glicose, frutose) (GRICE; GOLDSMITH, 2000). Alguns são completamente absorvidos pelo organismo (metabolizáveis), outros parcialmente, e alguns eliminados sem qualquer transformação. Além do poder dulçoroso, esses ingredientes são utilizados como agentes de corpo, textura, realçadores de sabor e propriedades pré-bióticas (HIRAYAMA, 2002). Alguns estão no mercado há muito tempo e outros aguardam aprovação pelos órgãos de saúde pública (AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION, 1998; CALORIE CONTROL COUNCIL, 2003).

A utilização de FOS como fibra alimentar ou usado como substituto de gorduras resulta, muitas vezes, na melhora das características sensoriais do produto, principalmente de sua textura e sabor, e quando utilizado em produtos de confeitaria apresenta melhores resultados quando comparado com fibras alimentares clássicas, por manter a umidade e a característica de produto fresco por mais tempo. A característica geleificante da inulina permite o desenvolvimento de produtos com baixo teor de gordura, sem comprometer o seu sabor ou a sua textura (ARENDET et al. 2003).

A grande diversidade de pães ricos em fibras provenientes de diferentes fontes e com diferentes propriedades físico-químicas tem levado a um grande planejamento de marketing por parte das indústrias e ao desenvolvimento de novos ingredientes alimentares. Portanto, faz-se importante o uso de testes químicos e físicos que avaliem a qualidade desses produtos.

2.5.2 Testes para avaliação da qualidade em panificação

2.5.2.1 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial dos alimentos é uma função primária do homem. Desde a infância, de forma mais ou menos consciente, ele aceita ou rejeita os alimentos de acordo com a sensação que experimenta ao observá-los ou ao ingeri-los. A avaliação sensorial engloba uma série de métodos, com orientação e técnicas estabelecidas, métodos estatísticos e diretrizes para a interpretação dos resultados (FERREIRA, 2000).

A qualidade sensorial incide diretamente na reação do consumidor, e sua importância nutricional tecnológica e econômica é evidente, já que pode condicionar ao fracasso ou ao êxito as inovações da Ciência e da Tecnologia de Alimentos (CHAVES; SPROESSER, 1996).

Os três tipos primários de testes sensoriais são os testes discriminativos, os descritivos e os afetivos. E a aplicação correta do método depende do objetivo do teste e requer uma boa comunicação entre especialistas sensoriais e a equipe de provadores (LAWLESS; HEYMANN, 1999).

A análise sensorial é considerada subjetiva, uma vez que depende do julgamento do homem por meio dos órgãos do sentido, sendo influenciada pela experiência e pela capacidade do julgador, além de fatores externos, como local da análise, estado emocional e da saúde do julgador, e condições e forma de apresentação da amostra-teste. Contudo, a utilização correta da tecnologia sensorial disponível leva à obtenção de resultados reprodutíveis, com precisão e exatidão comparáveis às dos métodos denominados objetivos (CHAVES; SPROESSER, 1996).

O objetivo do teste afetivo é avaliar a resposta pessoal (preferência ou aceitabilidade) de consumidores potenciais ou atuais do produto, devido ao desenvolvimento de um novo produto ou pelas mudanças das características dele (MEILGAARD; CIVILLE; CAR, 1991).

2.5.2.2 Colorimetria

Sistema de Cores CIE foi desenvolvido e adotado pela CIE (1931), e desde então passou a ser um padrão internacional para medida, designação e acerto de cores. Nesse sistema, a porcentagem relativa de cada uma das cores, teóricas primárias (vermelho, verde e

azul), pode ser identificada utilizando-se um valor matemático derivado do gráfico sobre o Diagrama de Cromaticidade. A partir desse ponto, o comprimento de onda predominante e a sua pureza podem ser determinados.

O espaço “Lab” possui três coordenadas cartesianas, uma denominada “L”, outra “a” e outra “b”. A coordenada L determina e quantifica a luminosidade, a coordenada “a” quantifica a variação das cores do verde para o vermelho, e a coordenada “b”, a variação de azul para amarelo. Por meio dessas três coordenadas, pode-se posicionar uma cor no espaço, ou seja, são números que expressam o endereço da cor. Ao obterem-se os valores de $L^*a^*b^*$ do padrão e $L^*a^*b^*$ da amostra, é possível calcular as diferenças entre padrão e amostra em cada coordenada, e também as diferenças totais, representadas pelo símbolo Δ (SETSER, 1984), como segue.

$\Delta L = L \text{ amostra} - L \text{ padrão}$ $\Delta a = a \text{ amostra} - a \text{ padrão}$ $\Delta b = b \text{ amostra} - b \text{ padrão}$

Fonte: Color Models (2003).

Os dois mais comuns instrumentos para medição de cores, em uso atualmente, são o espectrofotômetro e o colorímetro. Os equipamentos de colorimetria existentes no mercado utilizam uma fonte de luz que incide sobre a amostra de um detector da luz refletida por essa amostra ou alimento (Color Models, 2003).

Uma vez definida a cor padrão (um ponto do espaço L, a^* , b^*), a avaliação da aceitabilidade de uma amostra se define por desvios de L, a^* e b^* , o que permite inferir sobre alterações na cor, provocadas por alterações no processamento, de equipamentos, ou de ingredientes, ou de aditivos (HUNTER; HAROLD, 1987).

Para Giese (2003), a cor é um parâmetro crítico em alimentos e um indicador primário de qualidade de muitos produtos alimentícios. Preferencialmente, deve-se encontrar e preservar a cor e mantê-la a partir de sua matéria-prima durante todo o processo e manipulação do produto (ARGANDONA, 1999).

A cor é primeira impressão que se tem de um alimento, e a maior parte da nossa tendência em aceitá-lo depende de sua cor (CALVO; SALVADOR; FISZMAN, 2001). Hutchings (1999) sugere que a cor dourada de pães e torrada indicaria o ponto ótimo de assamento. Falta ou excesso de cocção seriam indicados por coloração muito clara, em um extremo, e pães escuros, no outro.

2.5.2.3 Perfil de textura instrumental

A textura pode ser definida como todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto que sejam perceptíveis por meios instrumentais e sensoriais (ROSENTHAL, 1999).

Afeta o processamento, manuseio, conservação e aceitabilidade do produto. A textura de alimentos tem sido reconhecida como um parâmetro sensorial multidimensional (LAWLESS, 1998).

Análises sensoriais incluem cheiro, sabor, som e toque. A avaliação de textura pelo tato inclui o uso dos dedos, lábios, língua, palato e dentes. Como é de se esperar, métodos sensoriais estão sujeitos a uma grande variabilidade, que pode ser reduzida com a utilização de painéis treinados. Algumas vezes o uso de análise instrumental é preferível, pela possibilidade de se realizarem os ensaios em condições adequadas de controle (PONS; FISZMAN, 1996).

Bourne (2002) destaca que aparência, paladar, textura e nutrição são os quatro principais fatores de qualidade desejados em um alimento. Assim como o paladar é o principal item na escolha, a textura é o principal fator para a rejeição de alguns produtos.

A utilização de reologia pode ser aplicada no controle da qualidade final de produtos, testes de vida de prateleiras, correlação de avaliação da textura instrumental aos dados sensoriais, no desenvolvimento de produtos, testes com novos ingredientes ou aditivos e otimização de processo, alterações por processos de envelhecimento do pão ou produtos de panificação. Na indústria da panificação, a reologia se faz importante para ajudar a prever as características do processamento da massa e, conseqüentemente, a qualidade do produto final, além de ajudar na definição dos ingredientes dos produtos elaborados (PHAIN-THIEN; SAFARI-ARDI, 1998; GUTKOSK, 2004).

Sua aplicação permite reprodutibilidade, eliminando as variações subjetivas dos painéis de provadores (SZCZESNIAK, 2002).

Particularmente sobre pães, Brady e Meyer (1985) correlacionaram as análises sensorial e instrumental de textura e observaram pequena variação entre os métodos. Através de equipamento adequado é possível observar parâmetros como firmeza, definida como a força necessária à compressão entre os dentes molares; coesividade, caracterizada como a força necessária à separação do pão com a mordida; elasticidade, o grau e a rapidez de

recuperação da amostra após a compressão desta pelos dentes molares; e mastigabilidade, considerada a força, em gramas, necessária até a amostra estar apta para ser engolida.

O perfil de textura (TPA) foi avaliado por Squires, Darcy e Caffin (1998) em pães com adição de mel e por Kadan e Robinson (2001) em pães de arroz, em comparação com amostras de pães integrais produzidos, ambos, em máquina caseira (*bread machine*), utilizando texturômetro TA-XT2.

De forma análoga, Carson e Sun (2001) avaliaram a textura de amostras comerciais de pães de forma (*whole wheat, rye, pumpernickel, whole grain*), utilizando equipamento DMA (*dynamic mechanical analysis*).

Civille e Szczecniak (1973) escreveram uma tabela definindo características sensoriais de textura. Tais propriedades são utilizadas para a determinação do perfil de textura. Cada área dessa curva representa uma característica do alimento, como dureza, coesividade, adesividade, fraturabilidade, elasticidade, ou uma combinação desses, obtendo-se parâmetros como a gomosidade e a mastigabilidade (COSTELL; FISZMAN; DURÁN, 1997).

A Figura 8 e o Tabela 6 apresentam algumas definições, técnicas e referências utilizadas para avaliação do perfil de textura de alimentos.

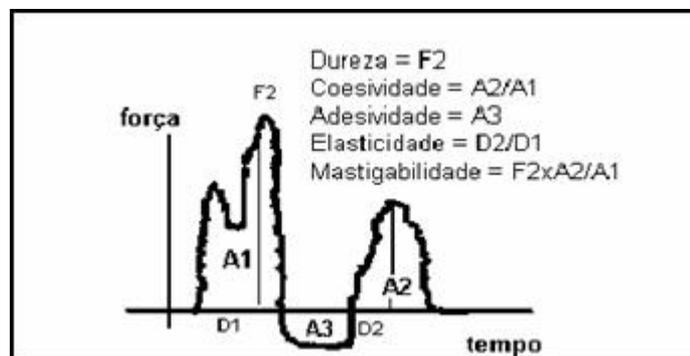


Figura 8. Representação gráfica dos parâmetros de textura

Fonte: Lannes e Gioielli (1995); Gutkoski (1997).

Tabela 6. Parâmetros de textura e técnicas sensoriais correspondentes.

Parâmetros	Propriedades físicas	Técnicas sensoriais
Dureza	Força total usada para comprimir a amostra que apresenta resistência à deformação	Força requerida para a compressão da amostra entre os dentes
Fraturabilidade	Força usada para romper a estrutura da amostra	Romper, esmigalhar, rachar a amostra com os dentes em pedaços

Elasticidade	Capacidade da amostra de voltar à posição de origem, resistente à deformação	Comprimir a amostra e soltar para a amostra voltar à forma original depois da compressão entre os dentes
Coesividade	Força que mantém a amostra inteira ou coesa, mantendo suas ligações internas intactas	Compressão total da amostra entre os molares, não rompendo a amostra
Mastigabilidade	Número de mastigações necessárias para desintegrar a amostra, calculada pelo valor de firmeza <i>versus</i> gomosidade	Tempo em segundos requerido para mastigar a amostra, a uma velocidade constante de aplicação de força para reduzi-la a uma consistência para deglutição
Adesividade	Força necessária para superar a atração entre o palato e a amostra	Remover a amostra do palato com a língua

Fonte: Mellgard, Civille e Car (1999).

2.5.2.4 Processamento e análise de imagens

A área de processamento e análise de imagens age através dos recursos do computador, simulando experiências em uma cena, de maneira a resolver um problema proposto, além de comparar entidades específicas com padrões previamente armazenados. A área de processamento e análise de imagens vem mostrando crescimento expressivo em diversas áreas de estudo, o que permite a análise automática por computador de informações extraídas de um parâmetro (JAIN, 1989).

A motivação ao estudo de técnicas de análise de imagens aplicadas à pesquisa de materiais porosos surge da possibilidade de obtenção de dados sobre a natureza morfológica e topológica da estrutura do material, contribuindo de maneira a complementar técnicas experimentais de tempo e custos muito elevados (por exemplo, a adsorção e a dessorção física de água) (SOL, 1993).

Geralmente, o objetivo final da realização de análise de imagens é a extração de algum tipo de medida ou contagem, seja ele perímetro, área, comprimento ou algum outro parâmetro que se deseja medir, desde que o programa esteja programado para tal (PRATT, 1998).

CONCLUSÃO

A yacon é uma espécie Andina de grande importância para a ciência da nutrição e tecnologia de alimentos, por seu elevado teor de frutoligosacarídeos, um tipo de carboidrato que se comportam fisiologicamente como fibras alimentares solúveis e são pouco calóricas até seis vezes menos que qualquer outro tubérculo conhecido. Diversos estudos comprovam os efeitos fisiológicos benéficos após o consumo de FOS por animais, mas em humanos os dados ainda são contraditórios, necessitando de um maior número de estudos, principalmente com FOS proveniente da yacon.

Estudos realizados neste departamento comprovam que a yacon tem um baixo índice glicêmico (dados desta autora, ainda não publicados).

A quantidade de FOS, a facilidade de cultivo e manejo são características que têm despertado o interesse mundial para a yacon principalmente das áreas da indústria alimentícia e farmacêutica e o tornam a yacon num alimento nutricionalmente promissor, podendo ser utilizado alternativamente em dietas de indivíduos com diabetes, sobrepeso ou obesidade ou mesmo constipação

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Aprova a norma técnica referente à farinha de trigo. D.O.U. 22 de julho de 1996.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Portaria nº 710, de 10 de junho de 1999. Aprova a Política Nacional de Alimentação e Nutrição, cuja íntegra consta do anexo dessa Portaria e dela é parte integrante. D.O.U. 15 de junho de 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. D.O.U. 20 de outubro de 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA/MS. Resolução RDC nº 137, de 29 de maio de 2003. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 2 de junho de 2003.

ALLES, M. S.; de ROSS, N. M.; BAKX, J. C.; VAN DE LISDONK, E.; ZOCK, P. L.; HAUTVAST, J. G. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 69, p. 64-69, 1999.

AMBROSIO, E. P. El câncer: influencia dietética sobre su incidencia y prevención. Sub Programa XI Tratamiento y conservación de alimento. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. **RIARE**, 3. ed., Cuba, p. 1-51, 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. 10th ed. St. Paul, MN, USA: B. Grami, 2000.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. 10th ed. St. Paul, MN, USA: B. Grami, 2001.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. Use of nutritive and nonnutritive sweeteners: position of American Dietetic Association. **J. Am. Diet. Assoc.**, Chicago, v. 98, p. 580-587, 1998.

ARAÚJO, J. M. A. Escurecimento enzimático em alimentos. Viçosa: Imprensa Universitária. Apostila n. 231.14, 1990.

ARENDRT, E. K.; O'BRIEN, C. M.; NUELLE, A.; SCANELL, A. G. M. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 265-267, 2003.

ARGANDONA, E. J. S. Desidratação de goiabas por imersão e secagem. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1999.

ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; SUKIHASHI, T. Fluctuations of oligofructan contents in tubers of yacon

(*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japan Journal Soil Science Plant Nutrition**, v. 62, p. 621-627, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. Compêndio da Legislação de Alimentos. **Consolidação das normas e padrão de alimentos**, São Paulo, 1985/1999.

BAXTER, Y. C. Fibras alimentares, fibras adicionadas, efeitos fisiológicos esperados e mudanças de hábitos alimentares. **SBNPE – Sociedade Brasileira de Nutrição Parenteral e Enteral**. Disponível em: <<http://www.sbnpe.com.br/boletins.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2004.

BENGMARK, S. Immunonutrition: concluding remarks. **Nutrition**, v. 15, p. 57-61, 1999.

BINGHAM, S. Definitions and intakes of dietary fiber. **Am. J. Clin. Nutr.**, n. 45, p. 1226-1231, 1987.

BOHN, J.; BEMILLER, J. (1-3)- β -D-Glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships. **Carbohydrate Polymers**, n. 28, p. 3-14. 1995.

BORGES, V. C. Impactos dos alimentos para a saúde. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, n. 48. 2001.

BORNET, F. R. J. Umdigestible sugars in food products. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59, p. 7635-7695, 1994.

BOUHNİK, Y. Effects of fructo-oligosaccharides ingestion on fecal bifidobacteria and selected metabolic indexes of colon carcinogenesis in healthy humans. **Nut. Cancer**, Paris, v. 26, n. 1, p. 21-29, 1996.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. San Diego: **Academic**, 2002.

BRADY, P. L.; GALLAHER, D.; BUSTA, F. The role of probiotic culture in the prevention of colon cancer. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 410s-415s, 2000.

BRADY, P. L.; MAYER, S. M. Measurement of bread firmness with the universal testing machine. **Cereal Foods World**, v. 62, n. 1, p. 70-71, 1985.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 544, de 16 de novembro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 de novembro de 1998. Seção 1. 1998.

BUDDINGTON, K. K.; DONAHO, J. B.; BUDDINGTON, R. K. Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumor inducers. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 3, p. 472-477, 2002.

CALORIE CONTROL COUNCIL. Low calorie sweeteners and fat replacers. Disponível em: <<http://www.caloriecontrol.org/index.html>>. Acesso em: 15 ago. 2003.

CALVO, C.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S. M. Influence of colour intensity on the perception of colour and sweetness in various fruitflavoured yoghurts. **European Food Research and Technology**, n. 213, p. 99-103, 2001.

CAMPBELL, J. M.; FAHEY, G. C.; WOLF, B. W. Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and *microbiota* in rats. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 130-136, 1997.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Varela, 1996.

CAPITO, S. M. P. Raiz tuberosa da yacon (*Polymnia sonchifolia*): caracterização química e métodos de determinação de frutanos (CG e CLAE-DPA). 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARDENAS, M. **Manual de plantas econômicas de Bolivia**. Cochabamba, Bolivia: Icthus, 1989.

CARSON, L.; SUN, X. S. Creep-recovery of bread and correlation to sensory measurements of textural attributes. **Cereal Chem.**, St. Paul, v. 78, n. 1, p. 101-104, 2001.

CHAVES, J. B. P; SPROESSER, R. L. **As práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: Imprensa Universitária. 1996.

CHO, S.; DEVRIES, J. W.; AND PROSKY, L. **Dietary fiber analysis and applications**. California: AOAC International, 1997.

CIE. Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms, **CIE publication** n. 15 (E-1.3.1), Supplement 2. Viena: Bureau Central de la CIE. 1931.

CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guideline to training a texture profile panel. **Journal Texture Studies**, v. 4, n. 2, p. 204-223, 1973.

CLEVINGER, M. A.; TURNBULL, D.; INOUE, H.; ENOMOTO, M.; ALLEN, J. A.; HENDERSON, L. M.; JONES, E. Toxicological evaluation of neosugar: genotoxicity, carcinogenicity and chronic toxicity. **Journal of American College of Toxicology**, v. 7, p. 643-662, 1988.

COFRADES, S.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; CARBALLO, J. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. **Meat Science**, v. 59, p. 5-13, 2001.

COLOR MODELS: CIE, CIELAB, CIELUV, CIEXYZ, HSB/HLS, Main, Munsell and RGB/CMY. Disponível em: <<http://support/ww.adobe.comtechguides/color/colormodels/>>. Acesso em: 7 fev. 2003.

CONWAY, P. L. Prebiotics and human health: the state-of-the-art and future perspectives. **Scandinavian Journal of Nutrition**, v. 45, p. 13-21. 2001.

COSTELL, E.; FISZMAN, S. M.; DURÁN, L. Propriedades Físicas I: reologia de sólidos y Textura. **Temas em Tecnologia de Alimentos. CYTED** – Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnologia para el Desarrollo, v. 1, cap. 6, 1997.

COUNDRAY, C.; BELLANGER, J.; CASTIGLIA-DELVAUD, C.; REMESY, 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 of Clinical Nutrition**, v. 51, p. 375-380, 2003.

COUSSEMENT, P. A. A. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. **Journal of Nutrition**, v. 129, p. 14125-14175, 1999.

CUMMINGS, J. H.; MACFARLANE, G. R.; ENGLYST, H. N. Prebiotic digestion and fermentation. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, p. 415S-420S, 1993.

DAIUTO, E. R. et al. Respiração pós-colheita em raízes da yacon (*Polymnna sonchifolia* Poep. & Endl). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 137, 1999.

DAVIDSON, M. H.; MAKI, K. C.; SYNECKI, C.; TORRI, S. A.; DRENNAN, K. B. Effects of dietary inulin in serum lipids in men and woman with hypercholesterolemia. **Nutrition Research**, v. 18, n. 3, p. 503-517, 1998.

DE BONA, S. **Estudos da viabilidade da produção de pão francês a partir de massa congelada**. 2002. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DE SÁ, R. M.; DE FRANCISCO, A. **Apostila do Curso Teórico-prático: Fibras Alimentares**. CERES/CAL/CCA/UFSC. Florianópolis, 2000. 26 p.

DE SCHRIJVER, R. Fermentation products in the large intestine: an overview. In: MÄLKKI, Y.; CUMMINGS, J. H. (Ed.). **Dietary fibre and fermentation in the colon**. COST Action 1992. **European Commission**, Luxembourg, 1996. p. 79-93.

DELZENNE, N. M.; KOK, N.; FIORDALISO, M. F.; DEBOYSER, D. M.; GOETHALS, F. M.; ROBERFROID, M. B. Dietary fructooligosaccharides modify lipid metabolism. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 57, n. 5, p. 820, 1993.

DOEHLERT, D. C.; MOORE, W. R. Composition of oat bran and flour prepared by three different mechanisms of dry milling. **Cereal Chemistry**, v. 74, p. 403-406, 1997.

DREHER, M. L. **Food industry perspective: functional properties and food uses of dietary fiber**. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C. (Ed.). **Dietary fiber in healthy & disease**. Minnesota: Egan Press, 1995. 486 p.

DREVON, T.; BORNET, F. Lês FOS: ACTILIGHT. In: MULTON, J. L. (Ed.). **Le sucre, les sucres, les edulcorants et les glucides de charges dans les IAA**. Paris: Tec & DOC, Lavoisier, p. 313-338. 1992.

EDWARDS, C. A.; EASTWOOD, M. A. Caecal and faecal short-chain fatty acids and stool output in rats fed on diets containing non-starch polysaccharides. **British Journal Nutrition**, v. 68, p. 217-229, 1995.

EL RETORNO DEL YACON. **Ciencia Hoy**, v. 11, n. 63, jun-jul, 2001. Disponível: <www.cenciahoy.org/hoy63/yacon2.htm> Acesso: 20 dez. 2003.

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: Uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães**. Brasília: EMBRAPA-SP, v. 2, 81 p. 1994.

ENGSTAD, R. E.; ROBERTSEN, B. Recognition of yeast cell wall glucan by Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) macrophages. *Developmental and Comparative Immunology* 17: 319-330. 1995.

ERICKSON, K.L.; HUBBARD, N.E. Probiotic immunomodulation in health and disease. *Journal of Nutrition*, v. 130, p. 403s-409s, 2000.

ESTRELLA, J; LAZARTE In vitro propagation of jicama (*Polymnia sonchifolia*) A neglected Andean crop. *Hortscience*, v. 29 n. 4, p. 331 - Quito, Equador, 1994.

FAGUNDES, R.L.M.; COSTA, Y.R. Uso de alimentos funcionais na alimentação. *Higiene alimentar*. v.17, n. 47, 2003.

FARIAS, L. I. de. **Pães de fibras**. Disponível em: www.abrasnet.com.br. Acesso: 20 dez. 2004.

FARRET, J. F. *Nutrição e Doenças cardiovasculares - Prevenção Primária e secundária*. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.

FDA. Food labeling. Health claims: Oats and coronary disease. *Federal Register*, 62, 3583-3601. 1997.

FERNANDEZ, C.E.; LIPAVSKÁ, H.; MICHL, J. Determination of saccharides content in different ecotypes of yacon (*Polymnia sonchifolia* Poeppig and Endlicher) cultivated under conditions of Czech Republic. *Agricultura Tropica et Subtropica Universitas Agriculturae Praga*, v. 30, p. 79-87, 1997.

FERREIRA, V. L. P. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas: SBCTA, 2000.

FIBRAS: uma falta de definição. **Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 4, p. 24-35, set./out. 1999.

FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. Distribuição, aspectos estruturais e funcionais dos frutanos, com ênfase em plantas, herbáceas do cerrado. **Revista Brasileira de fisiologia Vegetal**, v.5, n.2, p.203-208, 1993.

FIORDALISO, M.; KOK, N.; DESAGER, J. P.; GOETHALS, F.; DEOYSER, D.; POBERFROID, M.; DELZENNE, N. Dietary oligofructose lower triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins of rats. **Lipids**, v. 30, n. 2, p. 163-167, 1995.

FLAMM, G.; GLINSMANN, W.; KRITCHEVSKY, D.; PROSKY, L.; ROBERFROID, M. Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Ohio, v. 41, n. 5, p. 353-362, 2001.

FUKAI, K.; OHNO, S.; GOTO, K.; F.; HARA, Y. Distribution of carbohydrates and related enzyme activities in Yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Sci Nutr**, Fujieda, v.39, n.3, p.567.571, 1993.

FULCHER, R. G.; MILLER, S. S. Structure of oat bran and distribution of dietary fiber components. In: Oat Bran. Ed. P. J Wood. pp. 1-24. **American Association of Cereal Chemists**, Inc. St. Paul, Minnesota, EUA, 1993.

GALLARDO, R. S. C. **Obtención y caracterización de los oligofruanos a partir de la raíz Del yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & endl.)** Lima/Perú, 1999. 125 p. Tese. Universidade Nacional Agraria La Molina, 1999.

GAMET L., DAVAIN D., DENIS-POOUXVIEL C., RAMSEY C., MURAT J. C. Effects of short-chain fatty acids on growth and differentiation of the human colon cancer cell line HT 29. **Int. J. Cancer**, v. 52, p. 286-289, 1992.

GARCIA, L.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P. J.; RAGUZZONI, J. C. **Efeito de diferentes concentrações de farelo de aveia sobre o nível sérico de colesterol de homens e mulheres**) In: Anais da XXII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de aveia, p.p. 548-549. Passo Fundo. 2002.

GIBSON G. R., WILLIS C. L., VAN LOO J. Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria implications for health. **Int. Sugar J.** V.96. P.1150-1156. 1994.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **J Nutr, Cambridge**, Inglaterra, v.125, n.6, p.1401-1412, 1995.

GIBSON, G.R. Dietary modulation of the human gut microflora using prebiotics. **British Journal of Nutrition**, v.80, p.5029-5212, 1998.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technol.**, Chicago, v.54, n.2, p.62-63, 2003.

GORDON, D.T.; BOCALETTI, W.; ORELLANA, R. Fat substitutes, fat mimetics and bulking agents. The rest of the story. **Tecnología de Alimentos**, México, v.30, n.5, p.22-29, 1995.

GOTO, K.; KATSUHITO, F.; HIKIDA, J.; NANJO, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.59, n.12, p.2346-2347, 1995.

GRANADEIRO, C. **A nova pirâmide**. Rev. Veja, 8 ago., p. 92-93.2001.

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

GRICE, H.C.; GOLDSMITH, L.A. Sucralose an overview of the toxicity data. **Food Chem. Toxicol.**, Amsterdam, v.38, suppl.2, p.S1-S6, 2000.

GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 469 p. 1972.

GUTKOSK, L. C.; NODARI, M. L.; NETO, R. J. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p.91-97, 2004.

GUTKOSKI, L. C.; PAVANELLI, A. P.; MIRANDA, M. Z.; CHANG, Y. K. Efeito de Melhoradores nas Propriedades Reológicas e de Panificação da Massa de Farinha de Trigo. **Ciência e Tecnologia Alim.**, Campinas, v.17, n.1, p.11-16, 1997.

HARTEMINK, R.; VANLAERE, K. M. J.; ROMBOUITS, F. M. Growth of enterobacteria on fructooligosaccharides, Wageningen, Holanda. **Journal of Applied Microbiology** v.383, p. 367-374, 1997.

HEALTH IMPLICATIONS OF DIETARY FIBER. Position of the American Dietetic. Journal American Diet Associate. **Journal American Dietetic Association**, v. 97, p.1157-1159, 1997.

HENDRY, G,A,F, Evolucionary origins and natural functions of fructans a climatological, biogeographic and mechanistic appraisal. **New Phytologist**, v.123,p.3-14,1993.

HERMANN, M.; FREIRE, I., PAZOS, C., Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world. **Program Report. CIP**, Lima, p.199-242, 1998.

HERNANDEZ, T. HERNANDEZ, A. MARTINEZ, C. Fibra Alimentaria. Concepto, propiedades y metodos de analisis. **Alimentaria**, p. 19-30, abr., 1995.

HIDAKA, H.; HIRAYAMA, M. Useful characteristics and commercial application of fructoolifogaccharides. **Biochemical Society Transactions**, v.19, p. 561-565, 1991.

HILL, J.O.; TREBRIDGE, F.L. Chilhood obesity: future directions and research prioties. **Pediatrics**, v.101, n.3, p. 570-574, 1998.

HIRAYAMA, M. Novel physiological functions of oligosaccharides. **Pure Appl. Chem.**, Oxford, v.74, n.7, p. 1271-1279, 2002.

HISAE, T.; IKUKO, A.; HISAHARU, S.; HIROSHI, K. **Preparation of fermented yacon drink.** (CL. A23L2/52). JP 08294379A. 1p. 27 apr. 1995, 12 nov. 1996.

HONDO, M.; OKUMURA, Y.; YAMAKI, T. A preparation of yacon vinegar containing natural fructooligosaccharides. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi**, Hokkaido, v.47, n.10, p. 803.807, 2000.

HOSENEY, R.C. Principles of cereal science and technology. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, 825p. 1994.

HOSENEY, R.C., HE, H. Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. **Cereal Chem.**, St. Paul, v.67, n.6, p. 603-605, 1990.

HUNTER, RICHARD S. AND RICHARD W. HAROLD, **The Measurement of Appearance**, Second Edition, 1987.

HUTCHINGS, J.B. Food color and appearance. Gaithersburg: **Aspen Publishers**, 610p 1999.

INFORME TÉCNICO – INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUÁRIAS. Subproyecto R7-040. **Estúdio poscosecha de la calidad de raices y**

tubérculos andinos para definir sus posibles usos y aplicaciones. Quito: INIAP, p. 19-22. 1996.

JACOBS, D.R.J.; MEYER, H.E.; SOLVOLL, K. Consumption of whole grain foods and chronic disease. *Tidsskr Nor laegeforen.*, v.20, n.124, p. 339-401, 2004.

JAIN, A.K., **Fundamentals of Digital Image Processing**, Prentice-Hall, Inc., 1989.

JENKINS, J.A.; KENDALL, C.W.C.; VUKSAN, V. Inulin, oligofructose and intestinal function. *Journal of Nutrition*, v.129, p. 1431s-1433s. 1999.

KADAN, R.S., ROBINSON, M.G., THIBODEAUX, DP, PEPPERMAN JR., A.B. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Sci.*, Chicago, v.66, n.7, p. 940-944, 2001.

KANEGAFUCHI KAGARU KOGYO K.K.; HISADA, Y. NAWATA, N. **Beverages containg enzyme treated ground yacon.** (CL. A23L1/30). JP 04, 104, 1772. 24 aug. 1990, 07 apr. 1992.

KOLBYE, A. C., BLUMENTHAL, H., BOWMAN, B., BYRNE, J., CARR, C. J., KIRSCHMAN, J. C., ROBERFROID, M. B. & WEINBERGER, M. A. Evaluation of the Food Safety Aspects of Inulin and Oligofructose—GRAS **Determination. Orafiti internal report.** Orafiti, Tienen, Belgium. 1992.

KONONKOV, P. F.; GINS, V. K.; SMIRNOVA, M.I.; SHCHERBUKHIN, V. D. Extrative carbohydrates of yacon in the Moscow region. *Dokl. Ross. Akad. S- Kh.*, v.2, p. 9-10, 1998.

KURODA, S.; ISHIARA, J. Field growth characteristics of plantlets propagated in vitro and line selction for increased percentage of sugar in tuberous root of yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Bulletin of the Shikoku National Agricultural Experiment Station**, Kioto, Japão, v.57, p. 111-121, 1995.

LAJOLO, F.M. E SAURA-CALIXTO, F. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. **Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y Sallud.** Varela Editora e Livraria Ltda, São Paulo, 469p. 2001.

LANNES, S.C.S.; GIOIELLI, L.A. **Consistência de manteiga de cacau e seus sucedâneos comerciais: análise comparativa entre penetrômetro de cone e analisador de textura.** In: CONGRESO Y EXPOSICIÓN LATINOAMERICANO SOBRE PROCESSAMENTO DE GRASAS Y ACEITES, Anais. Campinas: UNICAMP, p. 229-233. 1995.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. Introduction and overview. In: **Sensory evaluation of food: principles and practices.** Gaithersburg: Aspen Publisher, 1999. cap. 1, p. 1-26. (A Chapman & Hall food science book).

LAZARIDOU, A., BILIADERIS, C.G. & IZYDORCZYK, M. S Molecular size effects on rheological properties of oat β -glucans in solution and gels. *Food Hydrocolloids*, 17, 693–712. 2003.

LOBO, A. R., SILVA, G. M. L. Implicações nutricionais no consumo de fibras e amido resistente. **Nutrição em Pauta**, jan.-fev. 2001.

LOPEZ, H.W. COUDRAY, C.; LEVRAT-VERNY, M.A., Fructooligosaccharides enhance mineral apparent absorption and counteract the deleterious effects of phytic acid on mineral homeostasis in rats. **J Nutr Biochem**, Clermont-Fd/Theix, França, v.11, p. 500-508, 2000.

LOURENÇO, F. **Aproveite a onda natural**. Disponível em: <http://pegn.globo.com/revista/index.asp?d=/edic/ed163/comofazer.htm>. Acesso em: 20 abr. 2005.

MALON, H.L. **Caracteres agronômicos de cinco cultivares de Ilacon (*Polymnia sonchifolia*), bajo condiciones de la campina de Cajamarca**. Cajamarca/Peru. Tese 89p. Universidade Nacional de Cajamarca, 1983.

MANCINI, M. C. Obesidade. **Rev. Bras. Méd.** Vol 61: 84-90, 2004.

MANSELL PW, ICHINOSE H, REED RJ, KREMENTZ ET, MCNAMEE R, DI LUZIO NR. Macrophage-mediated destruction of human malignant cells in vivo. **J Natl Cancer Inst** 54(3): 571-80.1975.

MÁRQUEZ, L.R. **Fibra Terapêutica**. Nutrição em Pauta. Nov. 2001. Disponível em <http://.nutricaoempauta.com.br/novo/51/entrevista1.html> Acesso em 12 de jul de 2004.

MARTINS, C. **Fibras e fatos**: como as fibras podem ajudar na sua saúde. Curitiba: Nutroclínica, p. 2-4. 1997.

MATTOS, L.L.; MARTINS, I.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v.34, n.1, p. 50-54, 2000.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 2ed. Boca Raton: CRC Press, 354p. 1999.

MERMEL, V. L. Old paths new directions: the use of functional foods in the treatment of obesity. **Food Science & Technology**. v. 15, p. 532 - 540, 2004.

MILLER, S. S., WOOD, P. J., PIETRZAK, L. N. & FULCHER, R. G. Mixed linkage β -glucan, protein content, and kernel weight in Avena species. **Cereal Chemistry**, 70, 231-233. 1993).

MODLER, H.W. Bifidogenic factors – sources, metabolism and applications. **Internartional Dairy Journal**,v.4,p. 383-407, 1994.

MOLIS, C. et al. Digestion, excretion and energy value of fructooligosaccharides in health humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.64, p. 324-328, 1996.

MONRO, J.; BURLINGAME, B. Carbohydrates and related food components: INFOODS tagnames, meanings, and uses. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 9, n. 18, p. 100-118, jan. 1996.

MUELLER A, RAPTIS J, RICE PJ, KALBFLEISCH JH, STOUT RD, ENSLEY HE. The influence of glucan polymer structure and solution conformation on binding to (1 \rightarrow 3)-beta-D-glucan receptors in a human monocyte-like cell line. **Glycobiology** 10 (4): 339-346. 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL Lost crops of the Incas: little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. **National Academy Press**, Washington, D.C., 1989.

NIETO, C. Agronomical and bromatological studies in jicama. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.41, n.2, p. 213-221, 1991.

NINESS K.R. Inulin and oligofructose. What are they?. **Journal of Nutrition**, v.129, p. 1402s-1406s, 1999.

OHYAMA, T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; IKARASHI, T.; INAMISAWAK.; 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.

OSAKA, H. J. **Mercados, empresas e cia. Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 18, p. 16, jan./fev. 2002.

PAPN – PROGRAMA DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES. Programa Colaborativo de biodiversidad – **Informe técnico**. Cochabamba (mimeo), 1996.

PARAJARA, F. **Yacon, o primo da batata que ajuda a controlar o diabete**. Saúde, São Paulo, n.194, novembro, p. 38-42, 1999.

PECTIN. Disponível em http://sci-toys.com/ingredients/pectin_2.gif Acesso em 29 jan. 2005.

PEREIRA DI; GIBSON GR. Effects of consumption of probiotics and prebiotics on serum lipid levels in humans. **Crit Rev Biochem Mol Biol**. V.37, p. 259-281, 2002.

PHAIN-THIEN, N.; SAFARI-ARDI, M. Linear viscoelastic properties of flour-water doughs at different water concentrations. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, Australia, v.74, p. 137-150, 1998.

PIERRE, F; PERRIN, P.; CHAMP, M.; BORNET, F.; MEFLAH, K.; MENANTEAU, J. Short-chain fructo-oligosaccharides reduce the occurrence of colon tumours and develop gut-associated lymphoid tissue in Min mice. **Cancer Research**, v.57, p. 225-228. 1995.

POMERANZ, Y. **Modern cereal science and technology**. New York: VCH,. 486p. 1987.

PONS, M. FISZMAN, S.M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **J. Texture Stud.**, Trumbull, n.27, p. 597-624, 1996.

PRATT, W., **Digital Image Processing**, John Wiley & Sons, 1978.

PREPARED FOODS. **Magazine formulation & ingredient challenges**, aug., 2002.

Disponível: <http://www.preparedfoods.com/ArticleArchiveSearch.html>. Acesso: 19 de maio de 2002.

PROSKY, L.; HOEBREGS, H. Methods to determine food inulin and oligofructose. **Journal of Nutrition**, v. 129, p. 14185-14235, 1999.

PYLER, E.J. Baking science and technology. 3.ed. Merrian: **Sosland**,. v.1, v.2, 1300p. 1988.

- QUAGLIA, G. Ciencia y tecnología de la panificación. Zaragoza (Espanha): **Acribia**, 485 p. 1991.
- QUIJANO, F. G.; Atividades de peroxidase e polifenoloxidade durante o armazenamento pós-colheita da yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.). **Acta Horticulturae**, n.569, p. 213-7, 2002.
- 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. 2000.
- REDDY, B. S.; HAMID, R.; RAO, C. V. Effect of dietary oligofructose and inulin on colonic preneoplastic aberrant crypt foci inhibition. **Carcinogenesis**, v.18, n.7, p. 1371-1374, 1997.
- RIBEIRO, R. C. L. F. Distribuição, aspectos estruturais e funcionais dos frutanos, com ênfase em plantas herbáceas do cerrado. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v. 5, n.2, p. 203-208, 1993.
- ROBERFROID, M., Dietary Fiber, Inulin, and Oligofructose: A Review Comparing their Physiological Effects. *Critical Rev. **Fd Sci. Nutr.*** V. 33,p. 103-148, 1993.
- ROBERFROID, M.; GIBSON, G. R.; DELZENNE, N. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: an approach to calculate its caloric value. **Nutrition Reviews**, Lawrence, v.51, n.5, p. 137-146, 1993.
- ROBERFROID, M.B.; Caloric value of inulin and oligofructose. **Journal of Nutrition**, v.129 p-1436s-1437s. 1999.
- ROBERFROID, M. B.; VAN LOO, J.A.E.; GIBSON, G.R.; The bifidogenic nature af chicory inulin and its hydrolisis productis. **Journal of Nutrition**,v.128p. 11-19, 1998.
- ROBINSON, H. Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII.Re-establishment of the genus *Smallanthus*. **Phytologia**, v. 39, n° 1, p. 47 . 53. 1997.
- ROCCO, C. S. **Determinação de fibra alimentar total por método gravimétrico não enzimático**. Curitiba, 1993, 102f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Curso de pós-graduação, Universidade Federal do Paraná. 1993.
- ROEDIGER, W. E. **Fermentation colonic epithelial cell metabolism and neoplasia**. In COST Action 1992. Dietary Fibre and fermentation in the colon. MÄLKKI Y. CUMMINGS JH (Eds). European Commission, Luxembourg, p. 341-349, 1996.
- ROLAND, N.; NUGON-BAUDON, L.; ANDRIEUX, C.; SZYLIT, O. Comparative study of the fermentative character´stics of inulin and different types os fibre in rats inoculated with a human whole faecal *microbiota*. **British journal of Nutrition**, v. 74, p. 239-249, 1995. et al., 1995.
- ROSENTHAL, A. J. **Food texture: measurement and perception**. London: Chapman & Hall, 311p. 1999.

ROWLAND, I. R.; RUMNEY, C. J.; COUTTS, J. T.; LIEVENSE, L. C. Effects of Bifidobacterium longum and inulin on gut bacterial metabolism and carcinogen-induced aberrant crypt foci in rats. **Carcinogenesis**, v. 19, n.2. p. 281-185, 1998.

SAKATA, T. Stimulatory effect of short-chain fatty acids on epithelial cell proliferation in the rat intestine: a possible explanation for trophic effects of fermentable fibre, gut microbes and luminal trophic factors. **British Journal of Nutrition** v.58, p. 95-103, 1987.

SANDROU, D. K.; ARVANITOYANNIS, I. S. Low-fat/calorie foods: current state and perspectives. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, Fort Lauderdale, v.40, n.5, p. 427- 447, 2000.

SAURA-CALIXTO, F. Fibra dietética de manzana; hacia nuevos tipos de fibras de alta calidad. **Alimentaria**. V.5,p. 57-61, 1993.

SCHNEEMAN, B.O. Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. **Journal of Nutrition**; v.129. p. 1424S-1427S.1999.

SCHNELL, M. Efectos de la fibra dietética sobre la absorción de glucosa. **Boletim Informativo de la Riare**, argentina, n.5, p. 22-30, 1995.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El Yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**, Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE), Lima, 2003.

SETSER, C. S. Color: reflections and transmissions. **Journal of Food quality**. n.6, p. 183-197, 1984.

SILK, D.B.A. Fibre and enteral nutrition. **Clinical Nutrition**, v.12, p. S106-113, 1993.

SILVA, E.B. 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, **Anais**. Curitiba. CD-ROM. 2003.

SLAVIN, J. Whole grains and health: separating the wheat from the chaff. **Nutr. Today**, v.29, p. 6-10, 2005.

SOL, A.A.S., **PhotoPix: uma plataforma para sistemas de processamento digital de imagens orientada para objetos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.

SPIEGEL, J.E.; ROSE, R., KARABELL, P. Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. **Food Technology**, Boston, v.48, p. 85-89, 1994.

SQUIRES, N.K.; D'ARCY, B.R.; CAFFIN, N.A. Australian honey as a ingredient in white pan bread to retard staling. In: **AUSTRALIAN CEREAL CHEMISTRY CONFERENCE**, Melbourne, p. 42-46. 1998.

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

- STELLA, R. **Fibras para seu intestino**. Disponível em: <<http://1.uol.com.br/cyberdiet/colunas/htm>>. Acesso em: 11 ago. 2004.
- STRICKLING, J.A. Evaluation of oligosaccharides addition to dog diets: influences on nutrient digestion and microbial populations. **Anima Feed Sci. Nad. Technol.**, Topeka, v. 86, p. 205-219, 2000.
- SZCZESNIAK, A.S. Sensory texture profiling: historical and scientific perspectives. **Food Technol.**, Chicago, v. 52, n. 8, p. 54-57, 2002.
- TAKENAKA M, YAN X, ONO H, YOSHIDA M, NAGATA T & T. NAKANISHI. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food chemistry**. V.51, p. 793-796. 2003.
- TANAKA, R.; MATSUMOTO, K. Recent progress on prebiotics in Japan, including galacto-oligosaccharides as food ingredients. **Food Technology**, v.336. p. 1488s-1491s. 1998
- TAPER, H.S.; DELZENNE, N.; TSHILOMBO, A.; ROBERFROID, M.B. Protective effect of fructo-oligosaccharide in young rats against exocrine pancreas atrophy induced by high fructose and partial copper deficiency. **Food chemical Toxicology**, v.33. m.8, p. 631-639, 1995.
- TAPER, H. S.; ROBERFROID, M. B. Influence of inulin and oligofructose on breast cancer and tumor growth. **Journal of Nutrition**, v. 129, p. 1488s-1489s, 1999.
- TAPIA, B.C., CASTILLO R. T.; MAZÓN, N.O Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos en Ecuador. **INIAP-DENAREF**, Quito, Ecuador, 180p. 1996.
- THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBVRE, A. C. Dietary fibres: nutritional and technological interest. **Trends Food Sci. Technol.**, Amsterdam, v. 8, p. 41-48, 1997.
- TODD, P. A. Guar gum: a review of its pharmacological properties and use as a dietary adjunct hypercholesterolemia. **Drugs**, v. 39, p. 917-928, 1990.
- TOKUNAGA, T.; OKU, T.; HOSOYA, N. Influence of chronic intake of new sweetener fructooligosaccharide (neosugar) on growth and gastrointestinal function of rat. **Journal of Nutrition Science and Vitamology**, v. 32, p. 111-121, 1986.
- TONIAL, S. R. **Desnutrição e obesidade**: faces contraditórias na miséria e na abundância. Pernambuco: IMIP, 2001.
- TUNGLAND, B. C.; MEYER, D. Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 1, p. 73-77, 2002.
- UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Química. **Batata Yacon**. Disponível em: http://www.quimica.matrix.com.br/artifos/batata_yacon.html Acesso em 29 dez. 2002.
- USDA – United State Department of Agriculture. **Dietary Guidelines for Americans 2005**. Disponível em: <http://www.healthierus.gov/dietaryguidelines/>. Acesso em: 10 may 2005.

USP – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO **Tabela de composição de alimentos**: projeto integrado de composição de alimentos. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela/tbcmenu.php>>. Acesso em: 18 ago. 2006.

VAN DEN HEUVEL, E.G.H.M.; MUYS T.; VAN DOKKUM, W.; SCHAAFSMA, G. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 69, p.544-548, 1999.

VAN LOO, J. A. E.; COUSSEMENT, P; LEENHEER, L.; HOEBREGS, H; SMITS, G. The presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, n. 6, p. 525-552, 1995.

VAN LOO, J.; CUMMINGS, J.; DELZENNE, N.; ENGLYST, H.; FRANCK, A.; HOPKINS, M.; KOK, N.; Mc FARLANE, G'NEWTON, D.; QUIGLEY, M.; ROBERFROID, M.; VAN VLIET, T.; VAN DEN HEUVEL, E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII – CT94-1094). **British Journal of Nutrition**, v. 81, p. 121-132, 1998.

VAN STAVEREN, W. A.; HAUTVAST, J. G. A. J.; KATAN, M. B.; VAN MONTFORT, M. A. J.; VAN OOSTEN-VANDER GOES, H. G. C. Dietary fiber consumption in an adult Dutch population. **J. Am. Diet. Assoc.**, v. 80, p. 324-330, 1982.

VIEIRA, V.C.R. Hábitos alimentares e Consumo de Lanches. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, n.46, p. 14-20, jan 2001.

VIETMEYER, N. D. (Edited by) – National Research Council. Lost Crops of the Incas little-known plants of the Andes with for worldwide cultivation. **Washington Academy Press**, 415p., 1989.

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

VILHENA, S. M. C; CÂMARA, F.L.; KADIHARA, S.T. O cultivo do yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**. v. 18, n.1, p.5-8, 2000.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KADIHARA, T.S.; SILVA, V. T.A. **Cultivo y industrialización de "yacon" (Polymnia sonchifolia Poep. Endl.): una experiencia brasileira**. WORLD CONGRESS ON MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS FOR HUMAN WELFARE, 2. Mendoza, 1997. Abstracts. Mendoza, ICMAP/ISHS/SAIPA, Abstract P-088.

VIRTUARTE. **Fibra alimentar**. Disponível em: <www.virtuarte.com.br/mdesa/index2.html>. Acesso em: 17 maio 2002.

VITTI, P. Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Tecnologia de Biscoitos**. Manual Técnico nº 01, Campinas, 1988. 86 p.

VOLPATO, G. T. Revisão de plantas brasileiras com comprovado efeito hipoglicemiante no controle de diabetes mellitus. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 4, n. 2, p. 35-45, 2002.

WANG, J.; SPORNS, P.; LOW, N. H. Analisis of food oligosaccharedes. **Journal of Agricultural and Foofd Chemistry**, v. 47, p. 1549-1557, 1999.

WANG, X.; GIBSON, G. R. Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. **J. Appl. Bacteriol.**, Cambridge, v. 74, n. 4, p. 373-380, 1993.

WEI, B.; HARA, M.; YAMAUCHI, R.; UENO, Y.; KATO, K. Frutooligosacchareides in the tubers of jerusalem artichote and yacon. Research Bulletin of the Faculty of Africulture, Gifu University, v. 56, p. 133-138, 1991. Apud: **Food Science and Tecnology Abstract J0088**, 1991.

WESTERLUND, E.; ANDERSSON, R.; ÅMAN, P. Isolation and chemical characterization of water-soluble mixed-linked β -glucans and arabinoxylans in oat milling fractions. **Carbohydrate Polymers**, v. 20, p. 115-123, 1993.

WHO – **World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic.** Report of a WHO consultation on obesity. Geneva: WHO: Geneva; 1998.

WOLD, A.E. Imunne effects of probiotics. **Scandinavian Journal of Nutrition**, v. 129, p. 76-85. 2001.

WOOD, P. J. Physicochemical characteristics and physiological properties of oat (1-3),(1-4)- β -D-Glucan. In: **Oat Bran**. Ed. Wood, P. J.: American Association of Cereal Chemists, Inc, pp.83-112. St. Paul, Minnessota, EUA. 1993.

WOOD, P. J., WEISZ, J., WOOD, P.J., WEISZ, J. & BLACKWELL, B.A. Structural Studies of (1 3), (14)- β -D-Glucans by ^{13}C -Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and by Rapid Analysis of Cellulose-like Regions using High-Performance Anion-Exchange Chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, 71, 301-307. 1994.

WÜRSH, P.; Pi-SunyerFX: The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. **Diabetes Care**, v. 20, p.1774-1780, 1997.

www.abrasnet.com.br/inst_em/sugest_art9.asp. Acesso em: 10 de julho de 2004.

YAMAMOTO, Y. In vitro digestibility and fermentability of levan and it hypocholesterolemic effects in rats. **J Nutr Biochem**, Osaka, v. 10, p.13.18, 1999.

YAN, X.; 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 Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n.11, p.4711-4713, 1999.

YOUNES H.; DEMIGNÉ, C.; BEHR, S. R.; GARLEB, K. A.; RÉMÉSY, C. A blend of dietary fibers increases urea disposal in the large intestine and lowers urinary nitrogen excretion in rats fed a low protein diet. **Nutritional Biochemistry**, v. 7, p. 474-480, 1996.

YUN, J. W. Fructooligosaccharides: occurence, preparation and application. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 19, p. 107-117, 1996.

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

ZHISHEN, J.; MENG-CHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64, p. 555-559, 1999.

ZULETA, A.; SAMBUCETTI, M. E. Frutanos: características estructurales y metodología analítica. In: LAJOLO, Franco Maria; MENEZES, Elizabete Wenzel de (Org.). **Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Editora da USP, 2006.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA YACON *IN NATURA* DE DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DE SANTA CATARINA

RESUMO

A yacon pertence à família das *Compositae* e é uma planta de origem andina. Seu nome é de origem indígena e significa alimento aguado (yakku = insípido e unu = água). A raiz da yacon é conhecida por diversos nomes populares. Nas últimas três décadas o cultivo da yacon tem se estendido para outros continentes, sendo introduzido no Brasil em 1989. Recentemente, foi introduzida a cultura da yacon no estado de Santa Catarina, encontrando-se plantações em cidades do Vale do Itajaí, da região da Grande Florianópolis e na região do Planalto Serrano. Este trabalho analisou a composição centesimal da yacon plantada nas diferentes regiões do estado de Santa Catarina. Os resultados demonstraram que houve diferenças significativas na composição físico-química entre os clones plantados nas diferentes regiões do estado. O clone plantado no estado foi identificado como sendo do cultivar amarelo.

Palavras-chave: Análise físico-química. Yacon. Frutoligossacarídeos.

1 INTRODUÇÃO

A yacon possui uma raiz de textura agradável, similar com a da maçã e pêra, e sabor doce, suave, contendo grande quantidade de água, aproximadamente 90,8% de umidade (HERMAN; FREIRE; PAZOS, 1997;CAPITO, 2000).

O cultivo da yacon no Brasil começou após a década de 90, quando um agricultor brasileiro de origem japonesa introduziu a espécie no interior do estado de São Paulo, iniciando com uma pequena indústria familiar que abastece comunidades japonesas, fornecendo raízes frescas, desidratadas, *chips* e folhas secas para o preparo de chás medicinais para diabéticos (EL RETORNO, 2001).

Aproveitando esse nicho de mercado, alguns produtores do estado de Santa Catarina iniciaram a produção comercial da yacon, oferecendo o produto em lojas especializadas na venda de produtos naturais, orgânicos ou medicinais. Atualmente, a yacon é cultivada em regiões distintas do estado de Santa Catarina. Uma das suas principais características é que ela se adapta facilmente a diferentes ecossistemas (ZARDINI, 1991), e o plantio da raiz da yacon no estado de Santa Catarina se concentra em regiões distintas do litoral e do Planalto Serrano.

Poucos estudos têm sido conduzidos com yacon produzida no Brasil. Vilhena, Câmara e Kadihara (1997) fizeram o único estudo conhecido até o momento. Nos países andinos, os autores Herman, Freire e Pazos (1997) determinaram a composição química da yacon em algumas regiões diferentes dos Andes e verificaram que sua composição apresenta variações de acordo com a região de plantio. Os dados existentes sobre teores de frutoligossacarídeos ainda são divergentes e isso pode ser consequência de variados fatores, como época de colheita, tempo de armazenamento, tipo do clone, ecossistema, clima e tipo de solo onde a planta é cultivada.

Os objetivos deste trabalho foram determinar e comparar a composição centesimal da raiz tuberosa da yacon plantada em diferentes regiões do estado de Santa Catarina, verificar possíveis alterações na composição devido à diferenciação geográfica e a possibilidade de utilização da raiz em produtos alimentícios.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostra

Foram utilizadas raízes de yacon produzidas em diferentes regiões do Estado: Região A: raízes plantadas em terrenos com altitude de 400 m acima do mar, clima temperado e com temperatura média variando de 15 °C a 25 °C; Região B: com altitude de 560 m acima do nível do mar, clima temperado e temperatura média de 15 °C a 25 °C; e Região C: com altitude de 980 m do nível do mar, clima subtropical e temperaturas médias de 16 °C.

As regiões foram previamente codificadas com letras do alfabeto, através de sorteio, sendo os resultados de cada região e a discussão apresentada com esses códigos (A, B, C).

Em todas as regiões a colheita foi realizada dez meses após o plantio, e as raízes foram transportadas até o Laboratório de Ciência e Tecnologia de Cereais – CERES (Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, UFSC), lavadas e armazenadas à temperatura de 4 °C (VILHENA; CÂMARA; KADIHARA, 1997) e submetidas imediatamente a análises.

2.2 Métodos

2.2.1 Características físicas das raízes

Três lotes de 10 raízes cada foram analisados quanto ao formato, peso, cor da casca e cor da polpa. Os padrões de classificação seguiram a tabela apresentada por Seminário e colaboradores. (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

2.2.2 Composição centesimal

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com os métodos oficiais da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995):

- a) umidade: nº 44-15a;
- b) resíduo mineral fixo: nº 08-01;
- c) proteína total (N 6,25): nº 46-12;
- d) extrato etéreo: nº 30-10;
- e) carboidratos: calculados por diferença;
- f) calorias: de acordo com ATWATER;

- g) sólidos totais: através da relação diferença entre o valor de umidade e 100%
- h) fibras alimentares totais, solúvel e insolúvel: nº 32-07.

Todas as análises foram feitas em triplicatas e os dados expressos em percentagem em base seca (m/m).

2.2.3 Análises estatísticas

A análise estatística consiste de uma parte descritiva (BUSSAB; MORETIN, 2002), com a determinação das estatísticas descritivas básicas, e de uma parte inferencial, que testa se há diferença significativa na composição centesimal da yacon.

A análise inferencial é baseada na Análise de Variância (ANOVA) com um fator (NETER, 1990a) e no teste de comparação múltipla de TUKEY (NETER, 1990b), o teste de TUKEY organiza as médias, gerando agrupamentos que são representados pelas letras que são atribuídas para cada média. Letras iguais significam que as médias não possuem diferenças estatísticas significativas. para identificar se há diferença estatística significativa nas análises realizadas. O nível de significância usado é de $p \leq 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características Físicas da Raiz da Yacon Cultivada no Estado de Santa Catarina

Três lotes de yacon de aproximadamente 10 unidades para cada região foram avaliados. Os parâmetros físicos avaliados foram: peso; coloração externa; e coloração interna. Os resultados obtidos em relação ao peso das raízes estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Peso total das raízes de yacon provenientes de três regiões distintas do estado de Santa Catarina

<i>REGIÃO</i>	<i>Média dos pesos obtidos (g)</i>
Região A	337,294 ^a
Região B	313,517 ^a
Região C	257,572 ^a

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$).

No recebimento das raízes observou-se que elas não tinham padrões fixos de formato e tamanhos, e no peso das raízes, confirmando as descrições apresentadas por diversos autores. Entretanto, neste estudo, não houve diferenças significativas entre as médias das raízes provenientes de diferentes regiões do Estado.

Com relação à coloração interna das amostras, observou-se que todas as amostras estudadas se mantiveram com coloração uniforme, de cor amarelada a translúcida, e a casca de todas as amostras foi de cor marrom-púrpura, segundo as características apresentadas por Seminario, Valderrama e Manrique (2003). Pode-se concluir que as características apresentadas pelas raízes estudadas determinam que o clone cultivado no estado de Santa Catarina, nessas regiões, é o clone amarelo. Amostras de yacon colhidas são ilustradas na Figura 1.

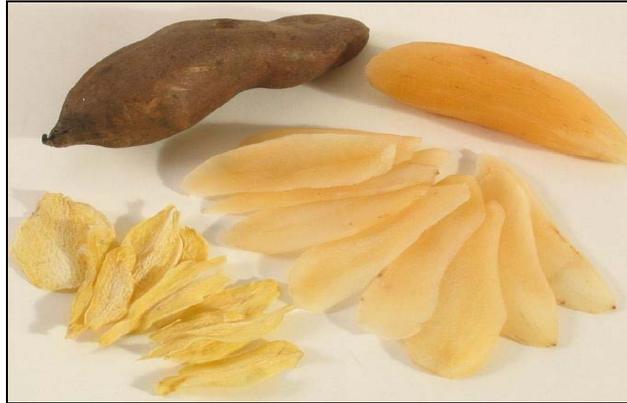


Figura 1. Raízes de yacon, cultivar amarelo

Fonte: Reserva pessoal.

3.2 Composição Química das Raízes Cultivadas no Estado de Santa Catarina

A composição centesimal de um alimento expressa o seu potencial em nutrientes, sendo esses dados muito importantes para a indústria de alimentos. Na literatura, não há referência sobre análises físico-químicas de raízes de yacon cultivadas no estado de Santa Catarina. Em se tratando de análises de yacon cultivada no Brasil, alguns estudos foram conduzidos nos estados de São Paulo e Paraná. Os dados encontrados na literatura são escassos e contraditórios (VILHENA, 1997).

Nas tabelas 2 e 3, estão apresentados os resultados estatísticos para as análises da composição centesimal realizadas nas raízes de yacon em base úmida e base seca. Tais resultados são de lotes de raízes provenientes de três regiões distintas do estado de Santa Catarina, identificadas pelas letras A, B e C. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Tabela 2. Caracterização das raízes de yacon (base úmida), cultivadas em regiões distintas do estado de Santa Catarina.

Componente	Base úmida			Valor de p
	A	B	C	
Umidade (%)	94,78 ± 0,39 ^a	95,63 ± 0,25 ^b	95,00 ± 0,00 ^{a,b}	0,0205
Cinzas (%)	0,41 ± 0,07 ^b	0,48 ± 0,08 ^b	0,17 ± 0,00 ^a	0,0028
Proteína (%)	0,73 ± 0,09 ^b	0,76 ± 0,08 ^b	0,35 ± 0,00 ^a	0,0006
Lipídios (%)	0,26 ± 0,02 ^b	0,24 ± 0,08 ^b	0,04 ± 0,00 ^a	0,0020
Carboidrato	3,82 ± 0,14 ^a	2,89 ± 0,12 ^b	4,44 ± 0,00 ^a	0,0000
Sólidos solúveis	5,22 ± 0,39 ^a	4,37 ± 0,25 ^b	5,00 ± 0,00 ^{a,b}	0,0205
Valor calórico	20,54 ^a	16,76 ^b	19,52 ^a	0,009

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média em base úmida.

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Tabela 3. Caracterização das raízes de yacon (base seca), cultivadas em regiões distintas do estado de Santa Catarina.

Componente	Base seca			Valor de p
	A	B	C	
Umidade (%)	-	-	-	
Cinzas (%)	7,77 ± 1,41 ^b	10,93 ± 1,91 ^b	3,48 ± 0,07 ^a	0,0017
Proteína (%)	13,93 ± 1,73 ^b	17,42 ± 1,88 ^b	6,92 ± 0,06 ^a	0,0004
Lipídios (%)	5,05 ± 0,48 ^b	5,52 ± 1,79 ^b	0,75 ± 0,01 ^a	0,0029
Carboidrato	73,25 ± 1,20 ^a	66,13 ± 1,86 ^b	88,85 ± 0,04 ^c	0,0190
				0,0010

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média em base seca.

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$).

As estimativas das médias e erros padrão apresentadas nesta parte do estudo foram obtidas a partir da aplicação de modelos estatísticos da ANOVA. Na tabela 1 foi apresentado os resultados da ANOVA e do teste de comparação múltipla de TUKEY, bem como a significância do teste (valor p).

Pelos resultados apresentados na tabela 2, pode-se concluir que os valores de umidade, proteína e cinzas, lipídios e carboidrato e sólido solúvel apresentaram algumas diferenças estatísticas significativas, ao nível de significância de 0,05 (5%), para os locais testados. Conseqüentemente, as condições agroecológicas diferenciadas interferiram na composição química dos lotes estudados conforme a tabela 2.

Os teores médios de umidade na yacon cultivada no estado de Santa Catarina por região estudada foram de (94,00 ± 0,39) g/100 g, (95,63 ± 0,25) g/100 g e (95,00 ± 0,00)

g/100 g para as regiões A, B e C, respectivamente. Houve diferença estatisticamente significativa entre as amostras, $p \leq 0,0205$. Provavelmente, a diferenciação regional influenciou nos teores de umidades das amostras estudadas.

Esses valores encontrados para teores de umidade estão em conformidade com os dados divulgados pela USP na Tabela de Composição Centesimal para yacon *in natura* (USP, 2001) e com os dados apresentados por Capito (2001), mas não estão de acordo com dados encontrados por Nieto (1991) ou mesmo Quinteros (2001), cujos valores encontrados foram inferiores: 84,8% e 88%, respectivamente.

Os teores de lipídios encontrados nas raízes de yacon estudadas das regiões A, B, C variaram de $(0,26 \pm 0,02)$ g/100 g, $(0,24 \pm 0,08)$ g/100 g e $(0,04 \pm 0,00)$ g/100 g, respectivamente, sendo o menor valor de lipídios encontrado para a raiz cultivada na região C. Esses dados corroboram dados encontrados por Quinteros (2001), que encontrou teores menores de lipídios, 0,003 g/100 g. Os valores apontados na Tabela de Composição Centesimal para yacon *in natura* (USP, 2001) para a yacon de 0,29% são semelhantes aos encontrados neste estudo, nas regiões A e B.

Os valores encontrados para os teores de proteína presentes nas raízes de yacon cultivadas no estado de Santa Catarina foram $(0,73 \pm 0,09)$ g/100 g, $(0,76 \pm 0,008)$ g/100 g e $(0,35 \pm 0,000)$ g/100 g. Os valores apresentaram diferença estatística significativa, sendo o menor valor encontrado o valor protéico da yacon cultivada na região C. Esses valores estão próximos ao citado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (USP, 2001), que é de 0,35 g/100 g. Os valores maiores encontrados para proteína nas raízes cultivadas nas regiões A e B estão de acordo com estudos realizados por Quinteros (2001), que apresentou teores de 0,62 g/100 g de proteína na yacon.

Os teores de cinzas variaram em 0,41 g/100 g, 0,48 g/100 g e 0,17 g/100 g para as regiões A, B e C. Os valores de cinzas das regiões A e B estão em acordo com o apresentados por Quinteros (2001), por Capito (2001) e pela Tabela da USP (2001), mas os valores de cinzas encontrados para a região C estão em total desacordo com os dados apresentados na literatura para análises químicas de yacon.

Em base seca, pode-se observar que os dados apontados nas análises realizadas em yacon cultivadas em diferentes locais do estado de Santa Catarina apresentaram diferenças estatísticas significantes; os teores de cinzas apontados para a região C estão em conformidade com os valores apontados em estudos realizados por Capito (2001), ou seja, valores de 3,72 g/100 g. Já os valores encontrados para cinzas da região A podem ser comparados com dados apontados em estudos realizados pela NAP (1989), valores que

variaram de 4 g/100 g a 7 g/100 g de cinzas em base seca. Comportamento semelhante observa-se para os teores de proteínas da yacon (base seca) cultivada no estado.

Os valores de lipídios encontrados diferem dos dados apontados na literatura, sendo valores bem superiores: 5,05 g/100 g para a região A e 5,52 g/100 g para a região B. Os valores de lipídios que mais se assemelham com os dados apontados por Capito (2001) foram os dados encontrados na região C.

Os teores de carboidratos em base seca são semelhantes aos encontrados na literatura (NAP, 1989; INFORMATIVO TÉCNICO, 1996), em que são apontados valores de 65 g a 85 g de carboidratos.

Na tabela 4 a seguir estão apresentados os resultados da ANOVA da análise relativa à quantidade de fibras insolúveis, solúveis e totais em bases seca e úmida por local de origem da raiz de yacon.

Tabela 4. Resultados da ANOVA da análise relativa à quantidade de fibras alimentares nas raízes de yacon (base úmida e base seca), classificadas por locais (A, B, C) do estado de Santa Catarina, Brasil

	Fibras Insolúveis		Fibras Solúveis		Fibras Totais	
	base seca (p=0,0150)	base úmida (p=0,0194)	base seca (p=0,4843)	base úmida (p=0,3919)	base seca (p=0,0042)	base úmida (p=0,0048)
A	14,180±2,490 ^a	0,740±0,130 ^a	9,865±1,245 ^a	0,515±0,065 ^a	24,140±2,49 ^a	1,260±0,13 ^a
B	12,501±1,060 ^{ab}	0,547±0,046 ^{a b}	8,467±3,890 ^a	0,370±0,170 ^a	20,974±1,05 ^a	0,91±0,04 ^{a b}
C	6,097±0,197 ^{b c}	0,267±0,023 ^b	5,717±0,250 ^a	0,324±0,020 ^a	11,814±0,05 ^b	0,59±0,00 ^{b c}

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média em base seca e base úmida.

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Pela Tabela 4 pode-se concluir que não houve diferença estatisticamente significativa para as fibras solúveis nas bases secas e úmidas entre os locais de plantio da raiz de yacon; entretanto houve diferença estatisticamente significativa para as fibras insolúveis, base seca, entre os locais A e B e o local C. Houve diferença estatisticamente significativa para as fibras insolúveis, base úmida, entre a região A e a região C. Também se pode dizer que os dados apresentam uma diferença estatisticamente significativa para as fibras totais (base seca), entre as raízes cultivadas nas regiões A e B. Houve diferença estatisticamente significativa para as fibras totais, base úmida, entre o local A e o local C.

Os valores de fibras alimentares insolúveis da região C (6,097 g/100 g) estão em acordo com dados apresentados por Capito (2001) (6,52 g/100 g), mas são inferiores às quantidades apontadas nas outras regiões em mais de 50% (14,18 g/100 g para a região A, e

12,50 g/100 g para a região B) em base seca. Para fibras solúveis, os valores encontrados nas três regiões não diferiram estatisticamente entre si ($p = 0,0843$), mas são inferiores aos reportados pela literatura (3,16 g/100 g) (CAPITO, 2001), conforme mostrado na Tabela 5 e 6.

As amostras analisadas demonstraram, em geral, um alto conteúdo de frutanos, se se usar a correlação entre teor de sólidos totais e frutanos. Vilhena (1997) relatou um teor de 10,1% de FOS em yacon recém-colhida após 8 dias de exposição ao sol. Considerando que as amostras do presente estudo demoravam uma semana para chegar do produtor até o laboratório para serem analisadas, pode-se afirmar que houve uma importante degradação dos FOS.

Os teores de carboidratos presentes nos cultivares estudados por Quinteros (2000) apontam para quantidades significantes de frutose mais sacarose mais glicose, e quantidades menores de FOS. Em contradição aos achados neste estudo, Quinteros não encontrou diferença significativa nos conteúdos de carboidratos presentes em raízes cultivadas no Brasil (9,47% de açúcares simples, 6,82% de FOS) e na Bolívia (7,81% de açúcares simples e 6,75% de FOS).

Tabela 5. Caracterização química da yacon em base seca (dados da literatura)

<i>Componente</i>	<i>NAP, 89 Base seca</i>	<i>INF.TEC, 96 Base seca</i>	<i>CAPITO, 01 Base seca</i>
Umidade (%)	69-83	89,21	90,8
Cinzas (%)	4-7	3,70	3,72
Proteína (%)	6-7	3,73	2,95
Lipídios (%)	0,4-1,3	0,62	0,75
FAT (%)	4-6	5,52	9,12
FAS (%)	-	-	3,16
FAI (%)	-	-	6,52
Carboidrato	65	85,55	-
Valor calórico	-	-	23,96

Tabela 6. Caracterização química da yacon em base úmida (dados da literatura)

<i>Componente</i>	<i>QUINTEROS, 01*</i>	<i>CAPITO, 01</i> <i>Base úmida</i>	<i>NIETO, 91</i> <i>Base úmida</i>	<i>USP**</i> <i>Base úmida</i>
Umidade (%)	88	90,8	84,8*	93,49
Cinzas (%)	0,41	0,41	23,03	0,46
Proteína (%)	0,62	0,32	24,34	0,35
Lípidios (%)	0,03	0,08	9,87	0,29
FAT (%)	2,87	0,84	23,37	1,17
FAS (%)	-	0,29	-	0,16
FAI (%)	-	0,60	-	1,01
Carboidrato	-	-	-	8,41
Valor calórico	-	23,96	-	33

4 CONCLUSÕES

Este trabalho determinou a composição centesimal da yacon do tipo amarelo de cultivares de regiões distintas do estado de Santa Catarina e estes diferiram significativamente em função da região onde foram plantados ou possivelmente pelo tipo de clone.

Com base nos dados obtidos, pode-se sugerir que a yacon é um alimento rico em fibras, de baixo valor calórico, e que pode ser considerado um alimento pré-biótico.

As diferenças encontradas e apresentadas neste estudo, quanto a caracterização química da yacon, podem ter sido determinadas especificamente por características climáticas da região ou pelo manejo da cultura, pois todas as amostras foram colhidas na mesma época após o plantio e submetidas ao mesmo teste analítico.

Com base nos dados obtidos, pode-se afirmar, ainda, que a yacon é um alimento pré-biótico, funcional, pois contém teores de fibras alimentares em quantidades importantes.

Quanto à umidade e sólidos solúveis, há diferença estatisticamente significativa entre as regiões A e B. A região A possui o menor valor médio para a umidade, e a região B, o maior. Para os sólidos ocorre o inverso: o local C não possui diferença estatisticamente significante em relação aos outros dois locais.

Quanto às cinzas, lipídeos e proteínas, há diferença estatisticamente significativa entre o local C com relação aos outros dois locais (A e B). O local C possui o menor valor médio desses parâmetros nas bases úmida e seca.

Os parâmetros analisados neste trabalho estão em parte de acordo com os achados na literatura nacional e com os dados apresentados para clones amarelos originados dos Andes bolivianos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. 10. ed. St. Paul, MN, USA: B. Grami, 2005.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. 10. ed. St. Paul, MN, USA: B. Grami, 2000.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. **Approved methods**. 10. ed. St. Paul: Minnesota, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 10. ed. Gaithersburg, 1993. v. 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Gaithersburg, 1997. v. 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the AOAC Internacional**. 17. ed. Gaithersburg, 2005.

BUSSAB, W. O.; MORETIN, P. A. Medidas resumo. In: BUSSAB, W. O.; MORETIN, P. A. **Estatística básica**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2002. p. 35-68.

CAPITO, S. M. P.; FILISETTI, T. M. C. C. Composição química do tubérculo de yacon (*Polymnia sonchifolia*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza, 2000. p. 5.48.

EL RETORNO DEL YACON. **Ciencia Hoy**, v. 11, n. 63, jun./jul. 2001. Disponível em: <<http://www.cenciahoy.org/hoy63/yacon2.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2003.

HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world. **Program Report**, CIP, Lima, p. 199-242, 1997.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: ITAL, 1985. v. 1.

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

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L. A.; KAKIHARA, T. S.; SILVA, V. T. A. Cultivo y industrialización de "yacon" (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.): una experiencia brasileña. In: WORLD CONGRESS ON MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS FOR HUMAN WELFARE, 2., Mendonza, 1997. **Abstracts...** Mendonza, ICMAP/ISHS/SAIPA, Abstract P-088.

CAPÍTULO 3 – PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E SENSORIAIS DE PÃES CONFECCIONADOS COM DIFERENTES QUANTIDADES DE YACON

RESUMO

Pão é um produto popular consumido no mundo inteiro, apreciado devido à sua aparência, aroma, sabor, preço e disponibilidade. Seu mercado cresce rapidamente e demanda a criação de novos maquinários e o uso de ingredientes alimentares seguros. Com o aprimoramento das receitas, hoje há uma grande variedade de formatos, formulações variadas e processos diferenciados de obtenção da massa, e agregação ou substituição de ingredientes para melhorar a qualidade nutricional, o sabor, a cor, a maciez e a conservação do produto final. A maioria dos produtos panificados apresenta algum tipo de açúcar que, além do enriquecimento calórico, funciona como melhorador de sabor, cor, plasticidade e conservação, e auxilia na fermentação. A raiz da yacon é rica em frutoligossacarídeos, um tipo de fibra alimentar usada na indústria de alimento e reconhecida com alimento seguro, tendo um comportamento químico e fisiológico associado à prevenção de doenças. O objetivo deste trabalho foi elaborar um pão integral sem adição de gorduras ou açúcares, produzindo, assim, um alimento com características nutricionais e sensoriais aceitáveis. O tempo e a temperatura do forno foram fixados em 40 minutos e 145 °C, respectivamente. As amostras de pão integral foram elaboradas com diferentes percentuais de yacon: 15%, 20% e 25%. Foram elaboradas análises de textura, umidade, volume, sensorial e análise de porosidade e microbiológica. Os resultados mostraram que a utilização de yacon nas proporções estudadas pode melhorar a qualidade de pães integrais. A qualidade microbiológica das amostras apresentou-se dentro dos padrões exigidos na legislação nacional. A análise físico-química reológica comprovou o potencial da yacon no enriquecimento do pão, conferindo a este mais maciez, aceitabilidade de cor e textura. O pão adicionado com yacon é um pão rico em fibras, de baixo valor calórico e de alta aceitabilidade entre os prováveis consumidores, e não apresenta perda ou alteração significativa de qualidade.

Palavras-chave: Yacon. Panificação. Fibras alimentares. Frutoligossacarídeos. Textura.

1 INTRODUÇÃO

Um dos alimentos mais respeitados e simbólicos é o pão. Isso se deve à importância de sua origem, que vem desde o início das grandes civilizações, dotado de inúmeras histórias e tradições, que ainda permanecem presentes na mesa dos consumidores, com variedades e sabores cada vez mais sofisticados (HISTÓRIA, 2001).

Na indústria de alimentos, a avaliação das características sensoriais dos produtos, na forma como eles são percebidos pelos consumidores, é um componente essencial no desenvolvimento, manutenção, otimização, melhoria da qualidade e avaliação do potencial de mercado desses produtos (STONE; SIDEL, 1993; PIGGOT, 1995). O sabor é o atributo mais apreciado em um alimento, e a textura, o principal fator para rejeitá-lo (BOURNET, 2002).

Pode-se definir a textura de um alimento como um conjunto de características de superfície que possam ser mensuráveis por meios instrumentais ou sensoriais (ESTELLER, 2004).

Os dados fornecidos pelas propriedades reológicas da matéria são de grande importância para a indústria alimentícia. Através deles é possível otimizar matérias-primas e diferentes processos utilizados pela indústria, a qual busca cada vez mais por produtos com boas características nutricionais, tecnológicas e sensoriais (HOSENEY, 1998; RAO, 1999).

A cor é um dos fatores que determinam a aparência de um produto alimentício. Sua avaliação é um parâmetro crítico em produtos assados. A cor da crosta muito clara demonstra erros no processamento. No sistema CIELAB, valores para claro e escuro são representados pelo L, o vermelho é representado pelo +a, o verde pelo -a, o amarelo por +b e o azul por -b, em um plano cartesiano (HUTCHINGS, 1999; GIESE, 2000).

A *SMALLANTHUS sonchifolia* Poepp. & Endl. (yacon), raiz de origem andina, recentemente cultivada no Brasil, pode ser considerada um alimento nutracêutico, em decorrência dos estudos realizados em animais sobre a diminuição da glicemia, após seu consumo repetido (HATA et al., 1983; ROBERFROID, 1997). Além disso, foi identificada também em suas raízes tuberosas a presença de diversos metabólitos de importante ação citotóxica antitumoral e analgésica, bem como de compostos fenólicos com atividade antioxidante, fitoalexinas, ácido clorogênico, triptofano, aminas, asparagina, glutamina, prolina e arginina (ASAMI, 1989; ASAMI et al., 1991; ESTRELLA; LAZARTE, 1994; YAN et al., 1999).

Uma raiz com sabor de pêra e parecida com a batata-doce possui em composição um alto teor de frutooligossacarídeos (67%), que são carboidratos de cadeia curta, que apresentam estrutura química de 2 a 9 unidades de frutose, através de ligações β (2 \rightarrow 1), ligadas a unidades de glicose (COPPINI et al., 2004). São considerados como fibra alimentar e classificados como pré-biótico (BLUM et al., 2004; FOOKS et al., 1999; PASSOS; PARK, 2003), isto é, exercem efeito biológico em humanos estimulando seletivamente o crescimento ou a bioatividade de microrganismos benéficos presentes ou introduzidos por medicamentos no intestino. São usados como fonte energética (AGCC) pela microbiota intestinal natural (McCLEARY et al., 2001; TOMASIK et al., 2003).

Essas características tornam o FOS um ingrediente muito atraente para a indústria da alimentação e nutrição, principalmente no uso de alimentos e preparados para pacientes com alterações metabólicas e gastrintestinais (PASSOS; PARK, 2003). O objetivo deste trabalho foi comprovar a funcionalidade da raiz da yacon como ingrediente em pães integrais, avaliar a possível interferência de seus compostos nas respostas obtidas através de testes físicos, sensoriais e instrumentais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para a confecção dos pães utilizaram-se raízes de yacon frescas, provenientes da cidade de Santo Amaro da Imperatriz, SC. Foi utilizada farinha de trigo especial: Anaconda com as seguintes características: 14,7% de umidade, carboidratos: 37 g, proteína: 5,0 g, fibras: 1,5 g (porções de 50 g); glúten úmido: 25-35, glúten seco: 8-12; número de queda: 250-360 segundos; cinzas: 0,60%; cor minolta: L*: mín. 92,00, máx. 94,00; a*: -1,00 máx. 0,00; b* mín. 9,00, máx 10,00. Farinograma: absorção de água: mín. 58% do tempo de desenvolvimento; 1,5-8 min; estabilidade: 7-14 min. Os dados foram fornecidos pelos fabricantes. Foram também utilizadas as farinhas de trigo integral fina (Jasmine); o fermento biológico fresco prensado (Itaiquara), sal refinado de mesa (Cisne); e reforçador.

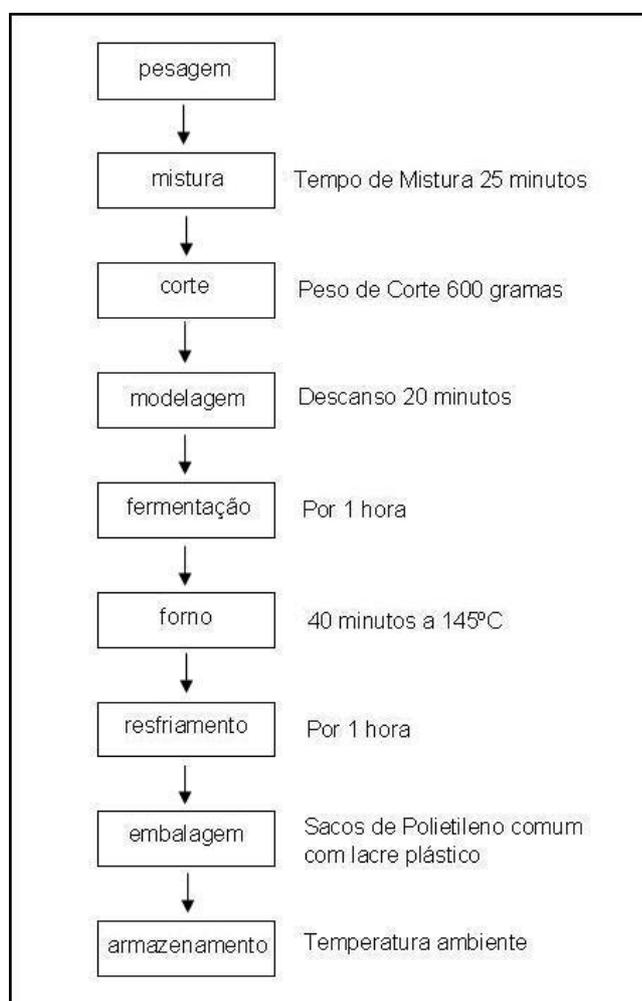
2.2 Preparo das Amostras

Todos os ingredientes foram misturados de uma só vez, no sistema de massa direta, sem pré-fermentação (LORENZ; KULP, 1991), em masseira N-Paniz. Os pães foram assados em forno elétrico. Para o desenvolvimento do pão integral com yacon, foi utilizada uma formulação padronizada como referência, e nas receitas-teste foram adicionadas diferentes quantidades de yacon. As formulações e os processos empregados são apresentados, respectivamente, na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1. Formulações utilizadas para o teste experimental de panificação.

Ingredientes (g)	C4	Y1	Y2	Y3
Farinha de trigo	2.100	2.100	2.100	2.100
Farinha integral	600	630	600	600
Sal	60	60	60	60
Fermento biológico	50	50	50	50
Reforçador	35	35	35	35
Yacon	----	410	560	670
Água	1.564 mL	1.340 mL	1.099 mL	975 mL

* O valor de água foi reduzido para dar o ponto ideal de “véu de noiva”, por causa da quantidade de água contida na raiz de yacon. C4 = formulação controle; Y1 = formulação teste com 15% de yacon; Y2 = formulação teste com 20%; Y3 = formulação teste com 25% de yacon.

**Figura 1.** Fluxograma de processamento dos pães integrais com yacon

2.3 Composição Centesimal

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com os métodos oficiais da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995):

- a) umidade: nº 44-15a;
- b) resíduo mineral fixo: nº 08-01;
- c) proteína total (N 6,25): nº 46-12;
- d) extrato etéreo: nº 30-10;
- e) carboidratos: calculados por diferença;
- f) calorias: de acordo com ATWATER;
- g) sólidos totais: através da relação: $100 - \text{teor de umidade}$; e
- h) fibras alimentares totais, solúvel e insolúvel: nº 32-07;

Todas as análises foram feitas em triplicatas e os dados expressos em % em base seca (m/m).

2.4 Avaliação Sensorial

Foi realizado teste de aceitabilidade dos pães integrais com adição de yacon, logo após o processamento, com 51 julgadores não treinados, prováveis consumidores locais. Os indivíduos que concordaram com a realização da avaliação assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Santa Catarina, sob o protocolo nº 143/2005.

As amostras foram servidas com apresentação monádica, em pratos plásticos brancos, codificados com três números escolhidos aleatoriamente. Cada julgador avaliou a amostra em relação a aceitação global, cor, aparência em bancadas no laboratório, e a aceitação de atributos específicos como sabor, textura em cabine fechada com luz vermelha incidente.

Utilizou-se a escala hedônica estruturada de 9 pontos (GUTKOSKI et al., 1997; LAWLESS; HEYMANN, 1998). A ficha de avaliação pode ser visualizada nas Figuras 2 e 3. Os dados coletados nas fichas foram submetidos à distribuição de frequência e análise de variância (ANOVA) com fator duplo de amostra e provador. O resultado foi dado em percentagem das notas que correspondem a 9 como sendo 100%.

Nome: _____ Sexo: ____ Idade: ____
 E-mail: _____
 Amostra: _____

Por favor, avalie a amostra de pão utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou:

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Indiferente
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Em relação à aceitabilidade global: _____
 Em relação à cor: _____
 Em relação à aparência: _____
 Comentários: _____

Figura 2. Ficha de avaliação para a aceitabilidade 01

Nome: _____ Sexo: ____ Idade: ____
 E-mail: _____
 Amostra: _____

Por favor, avalie a amostra de pão utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou:

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Indiferente
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Em relação ao **sabor**: _____
 Em relação à **textura**: _____
 Comentários: _____

Figura 3. Ficha de avaliação para a aceitabilidade 02

2.5 Análise de Cor Instrumental

Determinou-se a cor do miolo e da crosta dos pães integrais, da receita padrão e das receitas testes, utilizando o colorímetro Minolta (modelo CR 300) através do sistema “Lab”; com ângulo do observador de 10° e iluminante D65. No sistema Hunter de cor, corrigido pela CIE Lab, os valores de L (luminosidade) flutuam entre 0 (preto) e 100 (branco), os valores de a e b (coordenadas de cromaticidade) variam de –a (verde) até +a (vermelho), e –b (azul) até +b (amarelo). Cada valor apresentado representa a média de sete leituras em uma fatia de cada amostra, isto, crosta e miolo.

2.6 Microbiologia

Foram realizados a contagem total de coliformes a 45 °C, *Estafilococos aureus*, *Salmonella* sp, *Bacillus cereus*, bolores e leveduras de cada lote de amostra no tempo 00 (zero) dias. As amostras-controle e com yacon foram avaliadas conforme metodologia preconizada pela APHA (2001).

2.7 Teste do Rendimento do Pão

O rendimento (%) foi calculado de acordo com Osburn e Keeton (2004), ou seja:

$$\boxed{[\% \text{ rendimento} = (\text{peso do produto cozido} / \text{peso do produto cru}) \times 100].}$$

2.8 Avaliação Instrumental da Textura

Para a análise do perfil de textura instrumental (TPA – *Texture Profile Analysis*), as amostras foram analisadas em 12 repetições cada, utilizando o Volland-Stevens LFRA Texture Analyzer, modelo TA.XT2, através de uma sonda cilíndrica de 38 mm de diâmetro à velocidade de 0,5 mm/min e de acordo com o método descrito por Brennan (1888). Parâmetros como firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade foram calculados a partir de curvas originadas pelo aparelho.

O TPA consistiu em comprimir uma porção do produto em dois ciclos consecutivos imitando a ação da mastigação para a obtenção da curva de força-tempo e dos parâmetros relacionados com a textura.

Os pães permaneciam embalados em sacos plásticos individuais de polietileno comum de 0,5 mm, garantindo a manutenção do volume original e evitando o amassamento, em temperatura ambiente.

As análises foram realizadas uma única vez, no 1o dia de armazenamento, logo após o assamento. As amostras eram retiradas de forma aleatória, uma a uma, para evitar assim o ressecamento da crosta, que poderia interferir no resultado de textura.

2.9 Análise do Volume

O volume dos pães foi determinado colocando-se as amostras em recipiente com volume predeterminado, completando-se os espaços com sementes de painço de volume conhecido e leitura remanescente em proveta graduada, expressando-se o resultado em centímetros cúbicos (OVIEDO, 1991).

2.10 Análise de Porosidade

Foram separadas 5 fatias de cada amostra (20 fatias), com espessura de 12 mm, fotografadas em câmera digital, CANON profissional, EOS 20D com lentes de MACRO, flash 17mm ETTL com difusor, abertura de 8,0 ISO 200, CLAUDY, com iluminação adequada, mas não controlada. O equipamento ficou disposto em tripé, a amostra ficou distante da máquina 30cm na posição de foco vertical. E o disparo foi automático para evitar influência da mão do fotógrafo, a resolução utilizada foi máxima (RAW). As imagens foram submetidas e analisadas com o software Quantikov Image Analyzer – (Universidade Federal de Minas Gerais). Os resultados da quantificação de micropartículas determinaram-se os parâmetros alveolares: área (mm^2); diâmetro médio (mm); e perímetro (mm). A análise de imagens foi feita comparativamente, isto é, compararam-se os dados do pão controle (C4) com as amostras de pão com adição de yacon (15%, 20% e 25%).

2.11 Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram processados pela análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de TUKEY, empregando-se o nível de significância de $p < 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises Físico-Químicas dos Pães

Os valores de cinzas, proteínas, lipídios, carboidrato e fibra alimentar total podem ser visualizados nas tabelas a seguir, que representam a composição físico-química dos pães integrais com adição de diferentes quantidades de yacon.

Tabela 2. Composição físico-química de pães integrais com adição de diferentes quantidades de yacon

	Umidade	Cinzas	Cinzas	Lipídios	Lipídios	Proteína	Proteína	FAT	FAT
		Base úmida.	Base Seca	Base úmida	Base Seca	Base úmida	Base Seca	Base úmida	Base Seca
Y1	38,7824 ^a	2,6254 ^a	4,2887 ^a	0,4778 ^a	0,7805 ^a	7,7148 ^a	12,6022 ^a	3,7368 ^a	6,1041 ^a
Y2	34,7697 ^b	2,7643 ^a	4,2224 ^a	0,5486 ^b	0,8408 ^b	7,7063 ^a	11,8139 ^b	3,2213 ^b	4,9383 ^b
Y3	34,8493 ^c	2,5275 ^a	3,8794 ^b	0,5224 ^b	0,8031 ^b	7,9793 ^b	12,2475 ^c	3,6052 ^c	5,5336 ^c
C4	32,2049 ^d	3,4998 ^a	5,1657 ^c	0,2215 ^c	0,3270 ^c	8,2370 ^c	12,1578 ^c	3,8258 ^d	5,6468 ^d

Os resultados são a média de três determinações. Letras diferentes dentro da mesma coluna demonstram diferenças significativas ao nível de 5%. Valores expressos em g/100 g. Onde: C4 = formulação controle; e as formulações testes: Y1 = com 15% de yacon; Y2 = com 20%; Y3 = com 25% de yacon.

Tabela 3. Teores de carboidratos e valores calóricos totais e por porção de pão integral com adição de diferentes quantidades de yacon

	Carboidrato	Valor calórico em	Valor calórico por
		100 g	porção de 30 g
Y1	46,69 ^a	221,83 ^a	66 ^a
Y2	51,02 ^b	239,74 ^b	71 ^b
Y3	50,55 ^b	238,76 ^b	71,6 ^b
C4	52,04 ^c	243,06 ^c	72,9 ^c

Os resultados são a média de três determinações. Letras diferentes dentro da mesma coluna demonstram diferenças significativas ao nível de 5%. Valores expressos em g/100 g. Onde: C4 = formulação controle; e as formulações testes: Y1 = com 15% de yacon; Y2 = com 20%; Y3 = com 25% de yacon.

De acordo com os resultados expressos na tabela 2, a formulação de pão integral com maior teor de umidade foi a formulação Y1, que apresentou maior conteúdo de água na

receita (1.340 mL), seguida pelas formulações Y2 e Y3, com menor quantidade de água (1.099 mL, 975 mL, respectivamente), e por último a formulação controle, que, apesar de conter maior quantidade de água (1.564 mL), apresentou menor teor de umidade. Todas as amostras apresentaram diferenças significativas para os teores de umidade.

As diferenças encontradas no teor de umidade entre as formulações estudadas e a quantidade de água nas formulações que diferiram entre si podem ser explicadas pela presença de mais FOS na preparação, que, devido à sua construção química, grupos de OH disponíveis para ligação, são capazes de interagir com a água, por ligações de hidrogênio dificultando a sua evaporação durante o processo de assamento.

Com relação ao teor de proteína encontrado nas formulações Y1 e Y2 se mantiveram inalterados, a formulação C4, controle, apresentou teores maiores de proteínas, apresentando diferenças estatísticas significantes.

Não se pode afirmar que há perda de nutrientes na formulação com quantidades menores de yacon, porque a qualidade da proteína depende de sua constituição em aminoácidos e da capacidade de fornecer aminoácido ao organismo. A composição de aminoácidos das formulações não foi realizada.

Em termos de conteúdo lipídico, pode-se observar um aumento considerável do seu conteúdo nas formulações testadas (Y1, Y2, Y3), em relação ao controle (C4).

Por diferença, calculou-se a quantidade de carboidratos presente. O valor para carboidratos e calorias encontrado no pão com yacon (Y3) corresponde a valores encontrados em pães integrais industrializados como se pode observar nas Tabelas 4 e 5, em que se faz uma comparação de pães encontrados no mercado e que representa testes realizados por Anton (2005).

Os valores energéticos encontrados demonstram que a formulação é um alimento rico em fibras, cálcio e fósforo, sem com isso acrescentar calorias. Considerando-se o excesso de peso da população e a procura por alimentos saudáveis, torna-se interessante a oferta do pão com yacon para contribuir com uma dieta rica em fibras, com nutrientes essenciais e sem contribuição energética acima do padrão.

Faz-se necessária em estudos subseqüentes a determinação do conteúdo de frutanos na formulação, a fim de indicar a quantidade necessária de pão para atender às recomendações diárias de 3 g a 4 g de frutooligossacarídeos, para a obtenção dos efeitos benéficos atribuídos à ingestão desse carboidrato (CAPITO, 2001; TOMOMATSU, 1994).

Tabela 4. Composição centesimal dos pães de forma tradicional (FT), forma *light* (FL), francês tradicional (FR) e pão com yacon (*Polymnia sonchifolia*) (Y3), por 100 g de produto, conforme estudo experimental, em base úmida (n = 3 para cada amostra)

	<i>Unidade</i>	<i>FT</i>	<i>FL</i>	<i>FR</i>	<i>Y3</i>
Umidade	G	34,46 ^a	33,81 ^a	24,79 ^b	34,8 ^c
Energia	Kcal	247,5 ^a	237,89 ^a	290,08 ^b	238,76 ^c
Proteínas	G	9,42 ^a	11,82 ^b	9,45 ^a	7,97 ^a
Lipídeos	G	1,93 ^a	0,33 ^b	1,04 ^c	0,80 ^b
Carb. Totais	g	52,1 ^a	51,52 ^a	63,1 ^b	50,04 ^a
Carb. Disp.	g	49,53 ^a	46,91 ^b	60,73 ^c	47,96 ^{a,b}
Cinzas	g	2,09 ^a	2,52 ^b	1,62 ^c	2,52 ^a
Fibras Total	g	2,57 ^a	4,61 ^b	2,37 ^a	3,60 ^b

Valores na mesma linha seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Fonte: Anton (2005).

Tabela 5. Composição centesimal dos pães de centeio integral (CI), centeio integral *light* (CL) e trigo integral caseiro (TI), por 100 g de produto, conforme estudo experimental, em base úmida (n = 3 para cada amostra)

	<i>Unidade</i>	<i>CI</i>	<i>CL</i>	<i>TI</i>	<i>Y3</i>
Umidade	g	38,2 ^a	40,22 ^b	39,4 ^{a,b}	34,8 ^c
Energia	Kcal	213,34 ^{a,b}	206,95 ^a	220,43 ^b	238,76 ^c
Proteínas	g	11,15 ^a	14,11 ^b	10,72 ^a	7,97 ^a
Lipídios	g	1,86 ^a	1,07 ^b	1,79 ^a	0,80 ^b
Carb. Totais	g	43,39 ^{a,b}	42,03 ^a	45,94 ^b	50,04 ^a
Carb. Disp.	g	38 ^a	35,22 ^b	40,36 ^a	47,96 ^{a,b}
Cinzas	g	2,4 ^a	2,57 ^a	2,15 ^a	2,52 ^a
Fibras Total	g	5,39 ^a	6,81 ^b	5,58 ^a	3,60 ^b

Valores na mesma linha seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Fonte: Anton (2005).

De acordo com a legislação brasileira vigente, o alimento é considerado rico em fibras quando apresentar no mínimo 3% em fibras; e com alto teor, 6%.

Portanto, pode-se dizer que as formulações estudadas são ricas em fibras alimentares e, por apresentarem FOS em sua composição, podem ser consideradas alimentos funcionais,

pois atuam como fibras solúveis com ações pré-bióticas e estimulam seletivamente a microbiota intestinal benéfica.

Os FOS são ingredientes funcionais de grande importância para a indústria e para a saúde, uma vez que estudos recentes comprovam seu efeito significativo na absorção de minerais, principalmente o cálcio e o fósforo. Logo, um alimento rico em FOS e que contenha em sua composição quantidades elevadas de cálcio e de fósforo será um alimento rico e de grande importância para a alimentação de pacientes com doenças crônicas como osteoporose e constipação intestinal.

3.2 Avaliação Sensorial

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados obtidos com a avaliação sensorial das formulações. As formas de preparo do pão foram identificadas da seguinte maneira (Y1, Y2, Y3, C4), onde:

- a) Y1 – composição com 15% de yacon;
- b) Y2 – composição com 20% de yacon;
- c) Y3 – composição com 25% de yacon; e
- d) C4 – composição sem yacon – controle.

Na tabela 6 estão apresentados os resultados da ANOVA da análise sensorial relativa a cor, sabor, textura e aceitabilidade global.

Tabela 6. Resultados da ANOVA da análise sensorial

<i>Formulações</i>	<i>Cor</i> ($p < 0,0001$)	<i>Sabor</i> ($p = 0,0128$)	<i>Textura</i> ($p = 0,0024$)	<i>Global</i> ($p = 0,0003$)
Y1	8,196 ± 0,097 ^a	8,020 ± 0,103 ^{a,b}	8,255 ± 0,111 ^b	8,000 ± 0,101 ^a
Y2	8,314 ± 0,091 ^a	8,020 ± 0,107 ^{a,b}	8,176 ± 0,114 ^{a,b}	8,098 ± 0,098 ^a
Y3	8,647 ± 0,068 ^b	8,255 ± 0,088 ^b	8,392 ± 0,089 ^b	8,471 ± 0,081 ^b
C4	8,020 ± 0,103 ^a	7,804 ± 0,084 ^a	7,843 ± 0,102 ^a	7,922 ± 0,100 ^a

Tabela 7. Índice de aceitabilidade das formulações com yacon

<i>Formulações</i>	<i>Cor</i> ($p < 0,0001$)	<i>Sabor</i> ($p = 0,0128$)	<i>Textura</i> ($p = 0,0024$)	<i>Global</i> ($p = 0,0003$)
Y1	91a	89 a,b	91 b	88 a
Y2	92a	89 a,b	90 a,b	89 a
Y3	96b	91 b	93 b	94 b
C4	89 a	86 a	87 a	88 a

Valores expressos em percentuais de aceitabilidade, em que 100% equivale à nota máxima de 9 pontos da escala hedônica.

Com os dados representados na Tabela 6 e 7, pode-se concluir que a formulação de pão integral Y3, a maior concentração de yacon na massa, sempre obteve média estatisticamente significativa superior a C4. A formulação Y3 também obteve média estatisticamente significativa superior às formulações Y1 e Y2 com relação aos atributos de cor e aceitabilidade global, mas não obteve média estatisticamente significativa superior em relação à atributos como sabor e textura com relação a Y1 e Y2.

Considerando que, ao se desenvolverem produtos inovadores, faz-se fundamental avaliar a aceitabilidade junto ao mercado consumidor, somado aos dados apresentados nas tabelas anteriores, observa-se que todas as formulações estiveram acima do ponto de corte de aceitabilidade (70%). Todas as amostras obtiveram uma boa aceitação, com notas superiores a 7,0 (“gostei moderadamente”), sendo a menor nota 7,8, muito próxima do “gostei muito” na escala de preferência. A maioria das notas permaneceu entre o “gostei muitíssimo” e o “gostei muito”.

Mediante tais dados, pode-se verificar que a maioria das notas recebidas para cada um dos atributos cor, aroma, sabor e impressão global, em cada uma das formulações, situa-se na região indicativa de aprovação dos produtos (valores iguais ou superiores a 5). Observa-se também, pelas notas mínima e máxima, que não há possibilidade de um comportamento multimodal das distribuições.

Diferentemente do que ocorre para a maioria dos vegetais, a formação de glicose e frutose na yacon não promove aumento no teor de sólidos solúveis (°Brix), pois os frutanos presentes nessa raiz são de baixo grau de polimerização e apresentam alta solubilidade em água (80 g%). O mesmo não ocorre com a doçura, porque na hidrólise dos frutanos o principal monossacarídeo formado é a frutose, com doçura relativa média de 1,2, enquanto os frutanos apresentam doçura relativa igual a 0,5 (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; NITSCHKE;

UMBELINO, 2002). Dessa forma, o processo de hidrólise dos frutanos pode aumentar de maneira expressiva a percepção de doçura.

Thebaudin et al. (1997) afirmaram que os ingredientes ricos em fibras podem ser usados em alimentos somente se o produto apresentar boa característica sensorial, indiferentemente dos benefícios nutricionais das fibras, tendo sido esta pesquisa feita para poder alcançar um equilíbrio na formulação que resultou no pão integral com yacon.

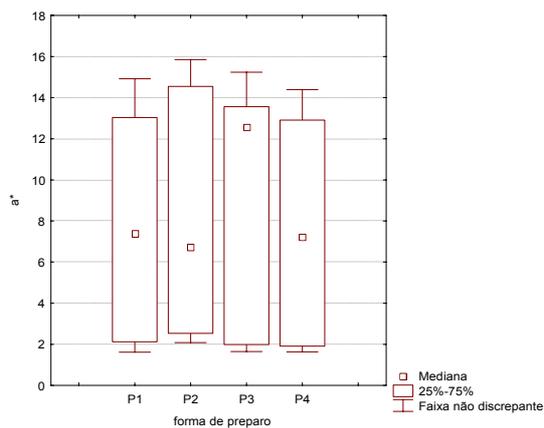
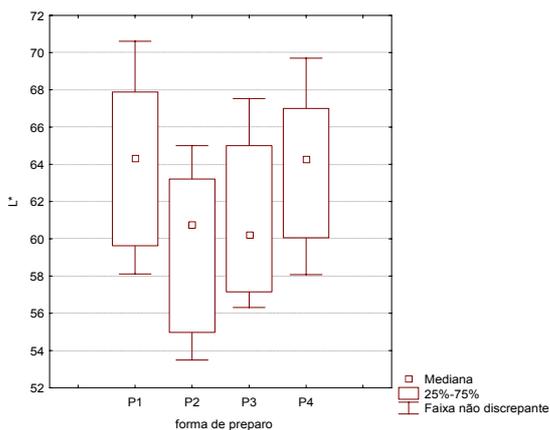
Os resultados apresentados apontam a viabilidade do processamento de produtos à base do yacon, de forma a veicular os frutanos em quantidade adequada para que sejam observados os efeitos benéficos atribuídos ao seu consumo, sem prejuízo da qualidade sensorial dos pães. Assim, a formulação de pães integrais com diferentes quantidades de yacon pode fazer parte da dieta habitual de indivíduos que buscam alimentos mais saudáveis, além de agregar valor comercial à yacon.

3.3 Análise de Cor Instrumental

O aspecto visual fornece informações sobre as características de um alimento, antecipando-se à recepção de todos os outros estímulos sensoriais e influenciando na preferência sensorial (DUTCOSKY, 1996). A cor do alimento é um elemento que a indústria utiliza para torná-lo mais apetitoso. Dessa forma, os resultados obtidos sugerem uma relação entre a cor da amostra mais clara na amostra Y3 e a maior preferência sensorial obtida para essa amostra.

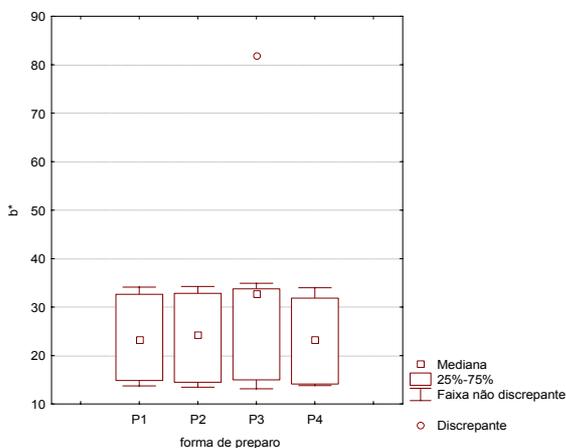
A ANOVA da colorimetria é fatorial, com dois fatores: forma de preparo e local. A forma de preparo do pão foi identificada da seguinte forma: Pão Y1 (15% de yacon); Pão Y2 (20% de yacon); Pão Y3 (25% de yacon); e Pão C4 (controle). Os locais são miolo e crosta.

Nos gráficos apresentados na figura 4 estão as distribuições dos dados da colorimetria por forma de preparo. E na figura 5 apresentam-se os dados da colorimetria por local de análise (miolo e crosta).



(a) L^*

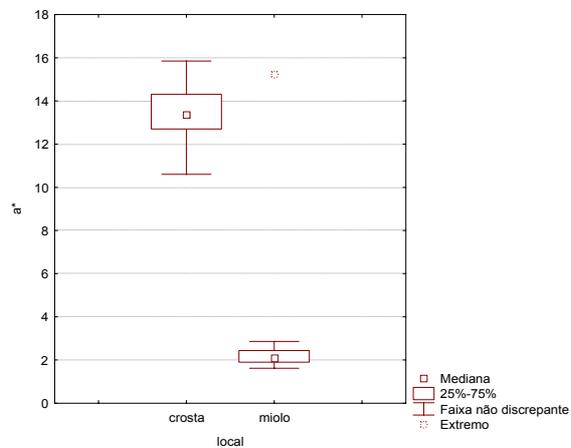
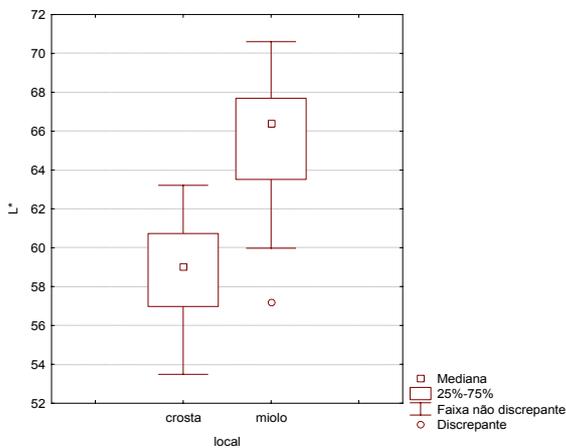
(b) a^*

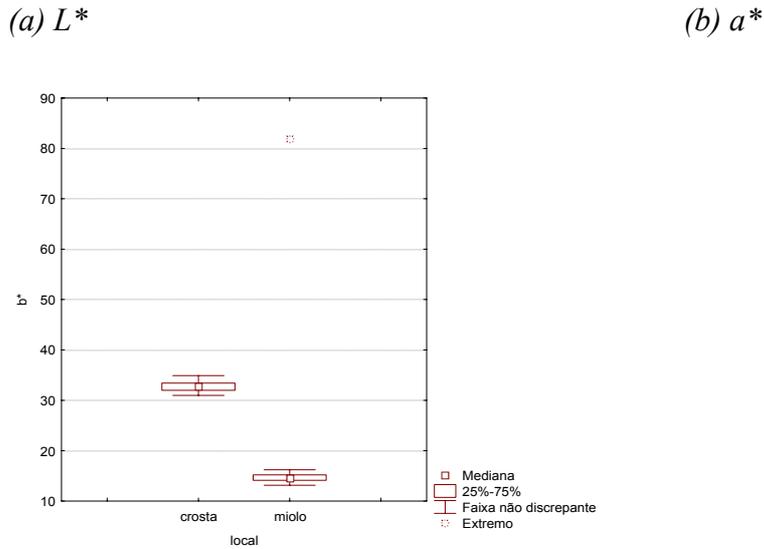


(c) b^*

Figura 4. Distribuição da colorimetria segundo a forma de preparo

Nos gráficos a seguir apresenta-se a distribuição dos dados da colorimetria por local de análise (miolo ou crosta).





(c) b^*

Figura 5. Distribuição da colorimetria segundo o local miolo ou crosta.

Pelos gráficos anteriores, nota-se uma tendência de diferença entre os locais testados (miolo e crosta).

Na tabela 8 estão apresentados os resultados da ANOVA da colorimetria relativos a L^* , a^* e b^* , segundo os fatores forma de preparo e local. Não foram estatisticamente significativas as interações entre os dois fatores para os parâmetros L^* , a^* e b^* ($p = 0,4003$, $p = 0,5524$ e $p = 0,4092$, respectivamente).

Tabela 8. Resultados da ANOVA da colorimetria para a forma de preparo

<i>Formas</i>	L^* ($p < 0,0001$)	a^* ($p = 0,5225$)	b^* ($p = 0,3033$)
Pão Y1	$64,174 \pm 1,172^b$	$7,768 \pm 1,563^a$	$23,646 \pm 2,493^a$
Pão Y2	$59,495 \pm 1,136^a$	$8,150 \pm 1,628^a$	$23,808 \pm 2,565^a$
Pão Y3	$60,994 \pm 1,047^a$	$8,606 \pm 1,609^a$	$28,942 \pm 4,794^a$
Pão C4	$63,872 \pm 1,087^b$	$7,558 \pm 1,557^a$	$23,281 \pm 2,435^a$

Houve diferença estatisticamente significativa entre Pão Y1 e Pão C4 com relação a P2 e P3 para L^* . Não houve diferença estatisticamente significativa na forma de preparo para a^* e b^* .

Houve diferença estatisticamente significativa entre os locais para L^* , a^* e b^* .

A Tabela 9 mostra os valores de L^* , a^* , b^* para todas as formulações. Os valores de ΔE foram calculados em relação à formulação padrão. Aumento nos valores de L^* são acompanhados por uma redução na cor.

Tabela 9. Resultados da ANOVA da colorimetria para os locais

Formas	L^* ($p < 0,0001$)	a^* ($p = 0,0001$)	b^* ($p = 0,0001$)
Crosta	$58,710 \pm 0,^a$	$13,436 \pm 0,221^a$	$32,810 \pm 0,186^a$
Miolo	$65,558 \pm 0,591^b$	$2,605 \pm 0,472^b$	$17,029 \pm 2,407^b$

Mitchell (1996) avalia a ação da polidextrose em massa folhada (pastry) e verifica que ela apresenta características de açúcar redutor, participando, portanto, da reação de Maillard e ajudando na cor da crosta de tortas.

Observou-se maior desvio para o vermelho nas amostras com crosta mais escura e para o amarelo nas mais claras, o que corrobora o estudo de Baik et al. (2000), que, na análise com massa de bolos, utilizando o sistema Hunter (L^* , a^* , b^*), verificam que, com o aumento do tempo de forno, ocorre aumento no escurecimento da massa, ocasionando redução nos valores de L^* e, proporcionalmente, aumento nos valores de a^* e b^* .

Há concordância, também, com os resultados obtidos por O'Brien et al. (2000), que avaliaram a cor da crosta de amostras de pão de forma formulados sem açúcar ou enzimas e com adição de gordura microencapsulada, utilizando o sistema CIELab* em colorímetro CR-300 (Minolta, Osaka, Japão). Observam que não há interferência desse ingrediente na coloração quando comparada com o controle, obtendo valores de L^* entre 48,5 e 52 unidades, resultado bastante semelhante ao padrão do pão de hambúrguer apresentado por Esteller (2004).

A avaliação da cor (L^* , a^* , b^*) na crosta de pães é descrita por Crowley et al. (2001) em formulações com e sem adição de glutamina (hidrolisado peptídico de glúten) em delineamento experimental com variáveis independentes (adição de água na massa, tempo de mistura, tempo de descanso e tempo de crescimento em estufa) e respostas (perda de umidade no assamento, ganho de volume e cor da crosta). Utilizando colorímetro CR-300 (Minolta, Osaka, Japão), verificaram que a adição do aminoácido torna a crosta mais escura e espessa, o que é atribuído ao maior grau de interação entre a glutamina e açúcares redutores. Pães sem

glutamina apresentam $L^* = 55,5$, $a^* = 14,4$ e $b^* = 32,1$; com glutamina, $L^* = 49,7$, $a^* = 16,0$ e $b^* = 28,9$.

Gallagher et al. (2003) produziram pães obtidos de farinha de trigo sem glúten (amido de trigo) com adição de derivados lácteos (soro de leite comum, soro de leite desmineralizado, proteínas isoladas de leite, leite desnatado e caseinato de sódio). Utilizando o colorímetro CR-100 (Minolta, Osaka, Japão), avaliaram a cor da crosta das amostras e encontraram valores de L^* variando de 36 a 62 unidades, de acordo com o tipo de ingrediente e a concentração na massa. O aumento no teor de açúcares do leite e de proteínas causa maior escurecimento da crosta (menor L^*), e a diminuição destes deixa a crosta mais clara (maior L^*), o que está relacionado, portanto, às interações açúcar-reductor-amino-compostos (reação de Maillard).

Esteller (2004) demonstra em seus estudos que um aumento no teor de povidexrose contribui para a melhorar a cor da crosta e, se combinado com sacarose, a variação de cor diminui consideravelmente.

Chapello (1998), usando sucralose, mostrou que esta é neutra no processo com fermentação biológica e, no caso de produtos panificados, mesmo após a cocção, pode ser recuperada sem qualquer perda de atividade.

O desenvolvimento da reação de escurecimento enzimático foi indicado pela redução no valor de “L” (luminosidade), indicando o escurecimento da amostra; aumento do valor de “a” (cromo $-a$ = verde, $+a$ = vermelho) e redução no valor de “b” (cromo $-b$ = azul, $+b$ = amarelo). A combinação dos cromos “a e “b”, conforme se desenvolve a reação de escurecimento enzimático, resulta na coloração marrom.

3.4 Análise Microbiológica

Embora os pães estejam estéreis ao deixar o forno, são expostos a esporos de fungos durante o resfriamento, embalagem e estocagem. Resultados de análises microbiológicas para os pães com yacon são apresentados na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10. Avaliação microbiológica das amostras de pães integrais com yacon

AMOSTRA	Salmonella	Col. 45	Estafilococos coag. +	B. cereus	Bolores e leveduras
Y1	ausência	< 3	< 10	< 10	6×10^2
Y2	ausência	< 3	< 10	< 10	2×10^3
Y3	ausência	< 3	< 10	< 10	$< 1 \times 10^2$
C4	ausência	< 3	< 10	< 10	$< 1 \times 10^2$

Conforme apresentado na Tabela 10, não houve crescimento de microorganismos aeróbios mesófilos, bolores e leveduras nas amostras submetidas ao tratamento térmico.

Os resultados da avaliação microbiológica de pão associado aos diferentes tratamentos com adição de yacon (C4 (controle), Y1, Y2, e Y3). Os resultados estão relacionados com microrganismos indicadores de higiene ou processamento provenientes de contaminação fecal e patógenos entéricos de veiculação hídrica.

Com relação à contaminação fecal, os resultados encontrados para o grupo de coliformes de origem fecal evidenciam práticas de higiene e sanitização adequadas, conforme padrões estabelecidos para consumo humano (BRASIL, 2001). O mesmo critério foi estendido para a avaliação das contaminações por microrganismos presentes nas vias aéreas e, no caso, a presença de *Staphylococcus coagulase* positivo com níveis abaixo de 10 UFC g⁻¹. Todos os tratamentos (C4, Y1, Y2, Y3) apresentaram resultados negativos com relação à detecção de *Salmonella* spp.

Do ponto de vista microbiológico, as amostras foram consideradas próprias para o consumo segundo os parâmetros regulamentados pela legislação brasileira RDC n° 12 (BRASIL, 2001), ou seja, apresentaram número mais provável de coliformes a 45 °C, < 3 NMP/g, número de *Bacillus cereus* < 10 UFC/g e ausência de *Salmonella* sp em 25 g.

Considerando que a etapa final do processamento do pão é o assamento em elevadas temperaturas (tratamento térmico), grande parte das células viáveis é eliminada, além de o calor possibilitar a eliminação de água, fator este indispensável para o desenvolvimento microbiano.

As análises microbiológicas foram efetuadas para garantir a inocuidade do produto e, assim, poder oferecer segurança aos julgadores.

Portanto, os resultados obtidos mostram que a raiz de yacon apresenta características químicas e microbiológicas próprias para utilização como base no desenvolvimento de

produtos alimentícios ricos em fibras alimentares e com baixo teor de lipídios ou açúcares, bem como disponibilizam dados técnicos que permitem auxiliar na seleção de alternativas economicamente viáveis para o aproveitamento dessa matéria-prima.

3.5 Análise do Perfil de Textura Instrumental

A Tabela 11 apresenta os dados obtidos da ANOVA aplicada nos resultados das análises realizadas com quatro formulações de pães integrais. No pão Y1 foram adicionados à massa 410 g de yacon ralada. No pão Y2 foram adicionados 560 g; no pão Y3 foram adicionados 670 g; e o pão C4 foi usado como controle para comparação dos resultados.

Tabela 11. Resultados da análise do perfil de textura, expressos como média do grupo seguida do erro padrão, dos pães com yacon e controle

Parâmetro	Pão Y1	Pão Y2	Pão Y3	Pão C4
Firmeza	938,23 ± 16,33 ^a	932,04 ± 10,60 ^a	886,65 ± 16,73 ^b	853,90 ± 13,29 ^c
Elasticidade	0,9986 ± 0,0186 ^a	0,9686 ± 0,0196 ^{ab}	0,9371 ± 0,0637 ^b	0,9600 ± 0,0141 ^b
Coesividade	0,8514 ± 0,0334 ^a	0,9343 ± 0,0321 ^b	0,9543 ± 0,0230 ^b	0,9671 ± 0,0528 ^b
Gomosidade	824,44 ± 18,19 ^a	848,94 ± 36,25 ^a	842,16 ± 24,02 ^a	839,83 ± 31,10 ^a
Mastigabilidade	818,24 ± 22,60 ^a	822,26 ± 56,30 ^a	833,07 ± 92,49 ^a	810,26 ± 65,47 ^a

Valores na mesma linha seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Os resultados apresentados na Tabela 11 demonstram que os perfis de textura (TPA – *Texture Profile Analysis*) das amostras avaliadas não apresentaram diferenças significativas para os parâmetros firmeza para as formulações Y1 e Y2, mas apresentaram diferença significativa quando a formulação tinha maior quantidade de yacon (Y3), todos superiores ao C4 (controle).

Para os parâmetros de elasticidade, observou-se que as amostras são significativamente diferentes. No parâmetro de coesividade, somente a amostra Y1 difere significativamente. As amostras com maiores quantidades de yacon (Y2, Y3) apresentam comportamentos semelhantes. Para todas as amostras não houve alterações na gomosidade e na mastigabilidade dos pães.

Os pães não possuem adesividade, pois em nenhuma das análises de perfil de textura foi encontrado qualquer valor referente a essa propriedade. A dureza, ou firmeza apresentou

uma variação nos resultados obtidos entre os pães Y1 e Y2 quando comparados com o padrão. Mas estes não diferiram entre si. A análise de variância indicou que houve diferença significativa na coesividade do pão Y1 em relação aos outros pães estudados e controle. Com relação ao parâmetro da elasticidade, pode-se observar que o pão Y1 foi significativamente mais elástico dos que os demais. Entretanto, visualmente, essas diferenças não foram percebidas. A mastigabilidade apresentou resultados homogêneos entre os pães analisados.

Os resultados das análises de dureza são apresentados em função da concentração de yacon no pão (Tabela 11). No tempo zero para todas as formulações, encontrou-se variação na maciez, mesmo quando os pães foram estocados em embalagem plástica, o que retarda a desidratação das amostras.

Nessa fase, tanto amido (amilose e amilopectina) quanto proteínas (glutenina e gliadina) ainda conservam alguma elasticidade, resultado da hidratação intensa ocorrida durante o batimento e a formação da massa. A adição de yacon inibiu o desenvolvimento do glúten durante o batimento, competindo com a farinha pela água da formulação, concordando com o trabalho de Gallagher et al. (2003) na produção de biscoitos. As massas com maior quantidade de açúcares necessitam menos água e tornam-se mais pegajosas. A recristalização da sacarose remanescente, durante a estocagem, conferiu aos pães, além do sabor característico, estrutura e corpo. A retrogradação está associada diretamente com o processo de envelhecimento dos pães. Os emulsificantes atuam reduzindo a velocidade da retrogradação do amido, o que beneficia a manutenção da maciez dos pães durante a estocagem.

O aumento da dureza está relacionado com o processo de recristalização e retrogradação da fração amilácea na massa. A adição de açúcares e sua ação em alimentos é revista por Davis (1995). As opiniões variam bastante. Para Levine e Slade (1987) e para Chinachoti et al. (1991), a sacarose aumenta a temperatura de transição vítrea, reduzindo a retrogradação do amido.

Kohyama e Nishinari (1991) concluem que a sacarose tem ação preventiva contra a retrogradação do amido em pastas de batata-doce e propõem que o açúcar interage com as cadeias estabilizando a matriz amilácea.

Kalichevsky et al. (1993) sugerem que a sacarose previne a retrogradação da amilopectina, reduzindo a viscosidade e provocando mudanças estruturais na fase água/amido de um sistema formado por amido/sacarose/água.

Ward et al. (1994) concluem que a adição de glicose ou frutose em pastas de amido de milho ou amido de trigo aceleram o processo de retrogradação.

O parâmetro dureza (N) corresponde, na curva do perfil de textura gerada pelo texturômetro, à altura do primeiro pico gerado pela compressão e adesividade, à área do pico negativo formado quando o *probe* é retirado da amostra. Sob o ponto de vista sensorial, dureza é definida como a força necessária para comprimir uma substância entre o molar (para sólidos) ou entre a língua ou o palato (para semi-sólidos), para se obter uma deformação ou penetração, enquanto adesividade é o trabalho necessário para remover o material que adere à boca (dente, palato, língua) (ABBOTT, 1973).

A interação dos ingredientes com as proteínas da farinha de trigo que são formadoras de glúten favorece o volume do produto final. O mecanismo de ação depende da estrutura das moléculas presentes nos ingredientes. A maior agregação entre as proteínas é decorrente da formação de pontes de hidrogênio entre a cadeia de óxido de eteno e o nitrogênio das proteínas. O fato de que uma molécula de emulsificante é capaz de formar múltiplas ligações com as proteínas do glúten garante um efeito reforçador na massa.

O volume do pão é dependente da fermentação da massa, e essa fermentação é dependente da presença de amido e do conteúdo protéico da farinha. A levedura utilizada como fermento necessita do amido, que é um dos principais constituintes da farinha de trigo.

Do ponto de vista macroscópico, o volume do pão é a somatória da parte sólida (crosta mais miolo), que se encontra interligada e fluida (ar), formada por bolhas isoladas e de tamanhos variados. O volume (estrutura) é obtido em três etapas (SCANLON; ZGHAL, 2001):

- a) mistura e desenvolvimento da massa (mistura e fermentação);
- b) formação da estrutura esponjosa (modelagem e crescimento); e
- c) estabilização da estrutura pelo calor (assamento).

O volume final dos pães dependerá da formulação (qualidade da matéria-prima, quantidade de água, uso de agentes oxidantes/redutores, quantidade de fermento, adição de fibras, glúten), desenvolvimento da massa (tempo de batimento, equipamento, aeração), tempo e temperatura de crescimento (fermentação) e cocção (forno, temperatura, tempo, vapor) (COWLEY et al., 2000). Teores altos de gorduras diminuem a resistência do glúten. Açúcares e sal em dosagens elevadas têm ação inibitória sobre o fermento (SIMONSON et al., 2003).

A variação do volume dos pães integrais com yacon, neste trabalho, encontra-se dentro de uma faixa esperada para esse tipo de produto, resultado de pequenas variações na matéria-prima – apesar de pertencerem a um mesmo lote –, desenvolvimento desigual da massa, tempo e temperatura de crescimento, que vão se somando ao longo do processo e são de difícil controle. Ensaio com os ingredientes, de forma isolada, e comparados a um padrão podem mostrar alguma diferença.

Haros et al. (2002) encontram efeitos positivos para o aumento de volume em pães de forma com a adição de carbo-hidrases (xilanase, celulase e β -glucanase) em diferentes concentrações, de forma isolada ou combinada.

Em outro trabalho, O'Brien et al. (2003) estudam, também em pão de forma, isolado em relação a um padrão, a adição de inulina (pó e gel) e Simplesse® (proteína do leite) em concentrações de 2,5% e 5% em relação à farinha de trigo, para ambos, como substitutos de gordura. Avaliam as alterações reológicas ocorridas após o preparo. O tempo de armazenamento antes das leituras não é informado. Concluem que a adição de Simplesse® enfraquece a rede de glúten, deixando a massa com estrutura porosa e com redução da capacidade de retenção dos gases produzidos durante a fermentação, ocasionando no produto acabado menor volume e aumento na dureza. A inulina, na massa, reduz a absorção de água proporcionalmente ao aumento de sua concentração, produzindo pães com volume similar aos que contêm gordura vegetal, mas, por outro lado, aumenta de forma acentuada a dureza das amostras tanto na forma gel quanto pó, e maior para esta última com picos de 2.400 gf no texturômetro TA-XT2.

Os valores de volume específico não diferem significativamente entre si, assim como a coesividade nas diferentes concentrações de yacon.

Como se pode observar na Tabela 12, o volume específico das formulações estudadas permaneceu inalterado.

Tabela 12. Avaliação do volume específico para pães integrais com adição de yacon

Parâmetro	Pão Y1	Pão Y2	Pão Y3	Pão C4
Volume esp.	5,00	5,57	4,16	4,75

O tipo de açúcar (FOS) utilizado não influenciou a fermentação, a retenção de gases e o volume final do produto; já outras variáveis (quantidade de fermento, teor de proteína, agentes oxidantes, peso de corte) poderiam influenciar de forma marcante o volume final.

Entre os diversos tipos de emulsificantes, existem aqueles cuja atuação se dá principalmente no sentido de promover melhoria de volume e de diminuir a velocidade de endurecimento do miolo, durante o período de estocagem do pão.

Portanto, é interessante que em uma formulação sejam utilizadas combinações de diferentes emulsificantes, que possam proporcionar tanto benefícios de volume como de maciez.

3.7 Análise de Porosidade Através de Imagens

O objetivo dessa análise foi de se realizar uma comparação de imagens no pão integral sem e com diferentes quantidades da raiz de yacon, com intuito de observar possíveis alterações no miolo e comparar a porosidade dos pães testes com o controle. Depois de feitas as análises observa-se que, não houve diferenças significativas nos dados encontrados conforme demostramos na tabela 13. As figuras 6,7,8 e 9 apresentam os histogramas de distribuição dos tamanhos de poros existentes no pão de yacon com diferentes quantidades de yacon.

Tabela 13. Resultado da Quantificação de Micropartículas pelo Analisador de Imagens Quantikov

<i>Medidas efetuadas</i>	<i>Pão Y1</i>	<i>Pão Y2</i>	<i>Pão Y3</i>	<i>Pão C4</i>
Diâmetro médio (mm)	1,768	1,856	1,740	1,747
Largura média (mm)	2,594	2,764	2,578	2,637
Área média (mm)	3,189	3,508	3,027	3,069
Maior diâmetro (mm)	9,474	7,682	7,490	8,535
Maior largura (mm)	14,697	13,452	14,448	18,184
Maior área (mm)	70,491	46,353	44,057	57,212
Menor área (mm)	0,248	0,248	0,248	0,248
Poros/área total (%)	9,93	11,45	11,17	8,86
Elementos processados	1.061	1.174	1.335	1.151

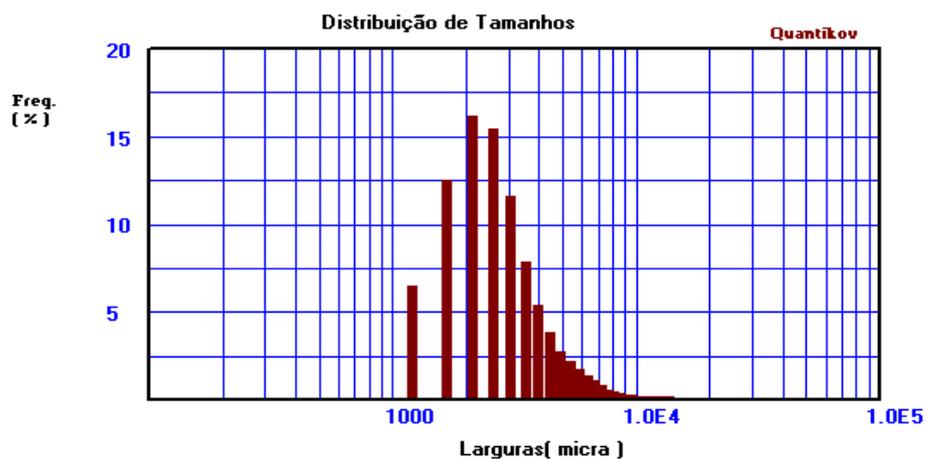


Figura 6. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y1 (15% de yacon).
Análise pelo Software Quantikov – Universidade Federal de Minas Gerais

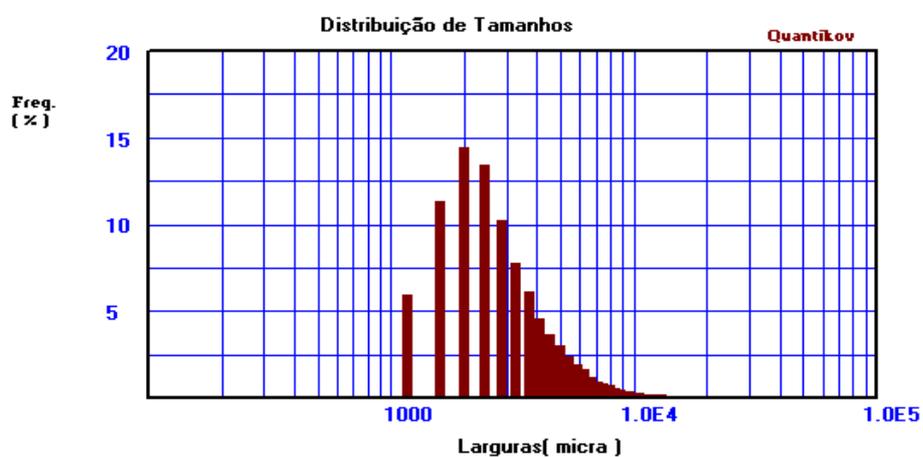


Figura 7. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y2 (20% de yacon).
Análise pelo Software Quantikov – Universidade Federal de Minas Gerais

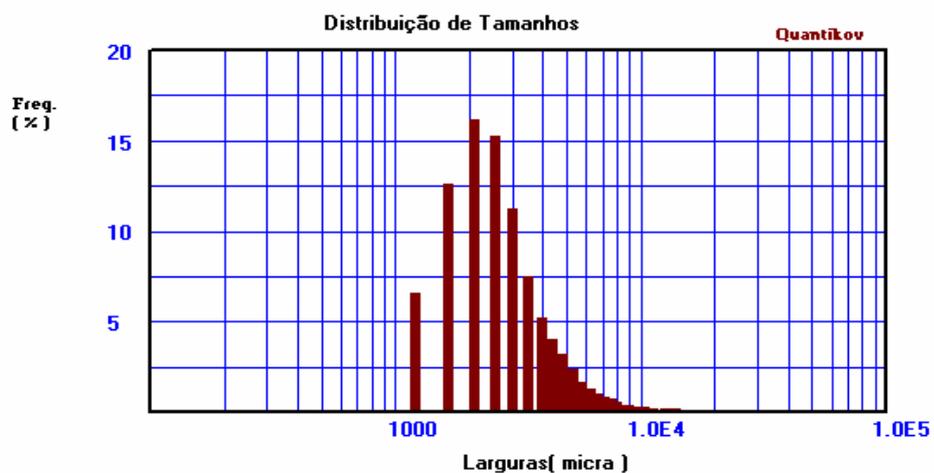


Figura 8. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão Y3 (25% de yacon).
Análise pelo Software Quantikov – Universidade Federal de Minas Gerais

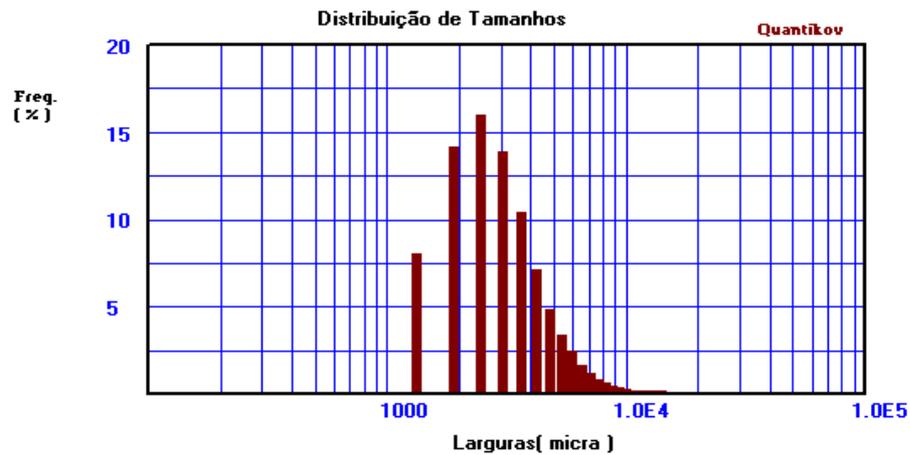


Figura 9. Gráfico da distribuição dos tamanhos dos poros presentes no pão C4 (sem yacon) - Controle.
Análise pelo Software Quantikov – Universidade Federal de Minas Gerais

Com base nos resultados expressos na tabela 13 e representados pelas figuras 6, 7, 8 e 9 pode-se constatar que a adição de yacon na formulação de pães integrais não altera significativamente a porosidade da massa, quando comparadas ao pão controle.

A íntima correlação de componentes e constituintes dos alimentos com estruturas nas imagens de métodos de formação de imagens poderia não ser frutífera, pois métodos analíticos e de formação de imagens almejam diferentes objetivos, diferentes instâncias de dados. Contudo, mostra-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que relacionem esses métodos a outros métodos de avaliação globais já consagrados na determinação de qualidade. Apesar desta e de muitas outras questões ainda a serem respondidas, o uso dos métodos de formação de imagens permite detectar a existência de diferenças entre amostras dificilmente observáveis por métodos tradicionais e parece abrir uma nova janela para conceitos mais abrangentes de qualidade.

4 CONCLUSÃO

Os pães foram avaliados microbiologicamente e se apresentaram dentro dos padrões estipulados, mostrando que foram corretamente manipulados. O manuseio e a confecção foram eficientes para o controle de bactérias aeróbias mesófilas, bolores e leveduras e bactérias lácticas.

Quanto à análise sensorial, as médias das notas foram altas para todas as receitas estudadas.

Há diferenças entre dados de vários trabalhos a respeito da yacon.

Deve-se levar em conta as diferenças climáticas e de relevo dos locais de cultivo das diferentes plantas usadas nos trabalhos.

Pode-se concluir que os pães estudados apresentaram boas características, como textura, cor e aroma agradáveis.

O equilíbrio entre os ingredientes é fator primordial para a obtenção de pães com boa qualidade, o que deverá ser considerado para um ajuste de formulação.

Os resultados mostraram, contudo, que, nas quantidades utilizadas e no tipo de pão estudado, podem ser utilizados quaisquer tipos de açúcares sem que haja alteração significativa na qualidade final do produto.

A utilização do FOS ou yacon de forma isolada ou combinada depende, apenas, de sua disponibilidade e preço.

As formulações Y1, Y2 e Y3 do produto pronto apresentam aspecto macio e leve, com uma crosta firme e marron. O resultado apresentado foi dentro do esperado. Na elaboração de pão de forma, o pão cresceu de maneira uniforme. Com a adição da yacon em maiores proporções, observou-se que o volume do pão diminuiu em relação aos pães anteriores com menos concentração. Provavelmente se fosse adicionado mais yacon numa quarta formulação teste, o pão ficaria com textura pastosa.

A yacon mostrou-se um excelente ingrediente para ser acrescentado em pães comercializados.

As vantagens que se podem relatar por se adicionar yacon em receitas tradicionais de pães são menor valor de dureza e mastigabilidade, além do aumento do teor de fibras, acima dos 3% para alimentos-fonte.

O valor calórico encontrado se equipara ao de pães já comercializados.

Portanto, o yacon é um alimento promissor e pode ser usado *in natura* na preparação de alimentos funcionais, sendo de alta durabilidade, fácil preparo e grande índice de aceitabilidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12806**. Análise sensorial dos alimentos e bebidas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1993. 8 p.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul: Minnesota, 1995.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul: Minnesota, 2005.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3th ed. Washington, D.C., 2001.
- ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHIYA, T.; KANO, K.; HORI, I.; OHYAMA, T.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japanese Journal of Soil Science and Plant. Nutrition.**, v. 62, n. 6, p. 621-627, 1991.
- BLUM, S.; ROCHAT, F.; SCHIFFRIN, E. **Alimentos e nutrição: prebióticos, probióticos e imunidade**. Nestlé Nutrition, SBD, 2004.
- BOURNET, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. San Diego: Academic, 2002. 400 p.
- COPPINI, L.; MARCO, D.; WAITZTBERG, D. L. **Introdução à fibra terapêutica: características e funções**. São Paulo, 2004.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 123 p.
- EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães**. Brasília: EMBRAPA-SP, 1994. v. 2. 81 p.
- ESTRELLA, J.; LAZARTE, E. In vitro propagation of jicama (*Polymnia sonchifolia*): a neglected Andean crop. **Hortscience**, Quito, Equador, v. 29, n. 4, p. 331, 1994.
- FERREIRA, V. L. P. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas: SBCTA, 2000.
- FOOKS, L. J.; FULLER, R.; GIBSON, G. R. Prebiotics, probióticos and human gut microbiology. **International Dairy Journal**, v. 9, p. 53-61, 1999.
- GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technol.**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 62-63, 2000.
- GUTKOSK, L. C.; NODARI, M. L.; NETO, R. J. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 91-97, 1997.

HATA, Y.; HARA, T.; OIKAWA, T.; YAMAMOTO, M.; HIROSE, M.; NAGASHIMA, T.; TORIHAMA, N.; NAKAJIMA, K.; WATABE, A.; YAMASHITA, M. The effect of oligofructans (Neosugar) on hyperlipemia. **Clinics in Geriatric Medicine**, v. 21, p. 156-167, 1983.

HISTÓRIA do pão. **Pães: biscoitos e salgados**, 2001. v. 1, p. 4-7.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. 2 ed. St. Paul: Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1998. p. 213-228.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1994. 825 p.

HUNTER, Richard S.; HAROLD, Richard W. The measurement of appearance. 2nd ed., 1987.

HUTCHINGS, J. B. **Food color and appearance**. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999. 610 p.

KULP, K.; PONTE, J. G. Jr. Staling of white pan bread: fundamental causes. CRC. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 1-49, 1981.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. Introduction and overview. In: **Sensory evaluation of food: principles and practices**. Gaithersburg: Aspen Publisher, 1999. cap. 1, p. 1-26. (A Chapman & Hall Food Science Book).

LORENZ, K. J.; KULP, K. **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, p.55-132. 1991.

LOZANO, R. D. **El color y su medición**: con una introducción a la optica fisiológica y al estudio de la visión. Buenos Aires, 1977. 639 p.

McCLEARY, B. V.; PROSKY, L. Advanced dietary fiber technology. Blackwell Science Ltd., 2001.

OSBURN, W. N.; KEETON J. T. Evaluation of low-fat sausage containing designed lamb and konjac gel. **Meat Science**, v. 68, n. 2, p. 221-233, 2004.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligosacarídes: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.

PIGGOTT, J. R. Design questions in sensory and consumer science. **Food Quality and Preference**, v. 6, p. 217-220, 1995.

RAO, M. A. **Rheology of fluid and semisolid foods**: principles and applications. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publication, 1999. p. 1-3, 6-12.

ROBERFROID, M. D. Health benefits of non-digestible oligosaccharides. **Advances in experimental Medicine and Biology**, v. 427, p. 211-219, 1997.

STATISTICA. Versão 6.0 for windows volume IV. 2002. Tulsa-OK, USA: Statsoft Inc. (Software).

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 2nd ed. London: Academic Press, 1993. 337 p.

TOMASIK, P. J.; TOMASIK, P. Probiotics and prebiotics. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 2, p. 113-117, 2003.

YAN, X. et al. Extraction and identification of antioxidantes in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 47, p. 4711-4713, 1999.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA RESPOSTA GLICÊMICA EM MULHERES SAUDÁVEIS APÓS A INGESTÃO DA YACON *IN NATURA*, DESIDRATADA E PÃO COM YACON

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar a resposta glicêmica em indivíduos aparentemente saudáveis, do sexo feminino, após a ingestão de equivalentes de carboidratos (50 g) procedentes da yacon, tomando-se como referência o pão branco. Os alimentos-teste foram consumidos individualmente. A glicose foi medida nos períodos pré-prandial (glicemia basal) e pós-prandial (15, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos). O índice glicêmico foi determinado a partir dos valores médios obtidos de cálculos geométricos das áreas sob as curvas glicêmicas, sendo expressos como percentual da área média do alimento-referência. Os resultados obtidos apontam para um baixo incremento das curvas glicêmicas, tendo sido os índices glicêmicos encontrados para a yacon de Santo Amaro, a yacon de Urubici, a yacon desidratada e do pão com 25% de yacon de 30,5%, 33,8%, 41% e 74%, respectivamente, com relação ao pão branco, que corresponde a 100% de incremento da curva glicêmica. Considerando a capacidade glicêmica apresentada pela raiz de yacon, yacon desidratada, então, sugere-se que o paciente diabético possa acrescentar esse tipo de alimento em sua dieta normal sem riscos, e o consumo do pão deve ser monitorado, pois apresentou um padrão de curva semelhante ao apresentado pelo pão branco. As comparações estatísticas foram feitas por meio de procedimentos padronizados. A diferença entre os valores dos índices glicêmicos foram significativas ($p < 0,05$). Com base nesses resultados, o consumo da yacon deve se popularizar, especialmente entre os pacientes diabéticos, uma vez que a raiz da yacon possui em sua composição cerca de 70% de açúcares não digeridos pelo trato gastrointestinal, o que influenciou diretamente nos controles glicêmicos dos pacientes estudados. É provável que a quantidade de fibras e de FOS influencie diretamente no incremento glicêmico.

Palavras-chave: Carboidratos. Resposta glicêmica. Yacon. Pão.

1 INTRODUÇÃO

Doenças crônicas não transmissíveis como a diabetes e doenças cardiovasculares têm sua incidência aumentada cada vez mais entre crianças e adultos. Sabe-se que o processo econômico de modernização causou na última década uma profunda mudança nos hábitos alimentares e que a prevalência dessas doenças aumentou consideravelmente. Em países desenvolvidos, caracterizados por crescente urbanização, por alterações no estilo de vida e pelo aumento da economia industrializada, há grande oferta de alimentos processados, ricos em sal, gorduras saturadas e calorias vazias, aliada à dificuldade na fiscalização da descrição fidedigna dos ingredientes. Em razão disso, vem sendo considerado um consenso mundial a necessidade de frear essa situação (BROENELL et al., 1992; WADDEN, 1992).

A modificação no hábito alimentar é um consenso como recomendação não apenas para a prevenção e o tratamento das dislipidemias, mas também para o tratamento de diabetes mellitus. A fim de garantir uma alimentação equilibrada e saudável, faz-se necessário identificar as causas primárias desses distúrbios alimentares e tentar fornecer uma dieta balanceada, equilibrada e individualizada que atenda as necessidades de nutrientes tanto em quantidade como em qualidade (EATON; KONNER, 1985).

As fibras, por sua vez, tornaram-se alvo do consumidor e das indústrias alimentícias e farmacêuticas. Têm sido recomendadas para o tratamento da constipação intestinal, doença diverticular do cólon, cólon irritável, hemorróidas, fissura anal e como preventivo do câncer do intestino grosso (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 1997). Tem sido divulgado também que diferenças na quantidade, no tipo de fibra e no tempo de ingestão influenciam o resultado da resposta glicêmica pós-prandial, assim como o tipo de carboidrato e sua forma de preparação (BLANTE, 1983; CRAPO, 1988).

Dentro desses conceitos destaca-se a importância do uso da *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. (yacon), originária dos Andes, que tem sido amplamente indicada para tratamento de indivíduos com diabetes e lipidemias. Os oligofrutanos (FOS) encontrados na yacon são resistentes à hidrólise salivar e às enzimas digestivas, e no intestino são fermentadas pelas bactérias anaeróbias, estimulando o crescimento seletivo de bifidobactérias e modificando significativamente a composição da microbiota intestinal. Frutooligossacarídeos são considerados semelhantes à fibra dietética e são classificados como pré-bióticos (BLUM et al., 2004; PASSOS; PARK, 2003).

Os FOS possuem atribuições variadas na saúde humana, apresentando comprovações científicas quanto à sua eficácia na redução de níveis séricos de glicose e colesterol, na prevenção da cárie dentária, na atuação de forma expressiva no estímulo de crescimento de bifidobactérias e na inibição do crescimento de bactérias patogênicas como *Clostridium* e *E. Coli*, protegendo, assim, o organismo da ação de microrganismos patogênicos. O consumo diário de FOS ainda promove um alívio na constipação e nos desconfortos abdominais, e aumenta a absorção de alguns micronutrientes como magnésio, cálcio e fósforo (PASSOS; PARK, 2003).

Já na década de 1970, Crapo et al. (1977) observaram respostas glicêmicas diferentes para alimentos como batata e pão quando comparados ao arroz polido e ao milho, enquanto Jenkins et al. (1976) descreveram trabalhos demonstrando a redução nos níveis de glicose sanguínea associada a dietas ricas em fibras.

Com relação a esses achados, a avaliação sistemática dos alimentos de acordo com as suas respostas glicêmicas foi empregada pela primeira vez por Otto e Niklas (1980), os quais, após testarem alimentos individualmente, permitiram a sua incorporação na dieta de diabéticos em quantidades inversamente proporcionais às suas respostas glicêmicas para manter constante o impacto glicêmico da dieta.

Diante dessas constatações, é proposto um índice glicêmico (IG) para avaliar e classificar os alimentos com base no aumento de suas respostas glicêmicas, que expressa a relação percentual das áreas sob a curva das respostas glicêmicas após a ingestão de 50 g de carboidratos de um alimento-teste e de um alimento-referência. Com a aplicação desse índice, é observado que quantidades iguais de carboidratos de diversos alimentos produzem respostas glicêmicas em graus diferentes (JENKINS, 1981).

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a resposta glicêmica de mulheres saudáveis após a ingestão equivalente de 50 g de carboidratos a partir da yacon *in natura*, yacon desidratada e pão com 25% de yacon na composição.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local

A avaliação ocorreu em uma sala de aula do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da UFSC.

2.2 Participantes

O grupo de participante foi constituído de 09 mulheres voluntárias, aparentemente saudáveis, com idade entre 20 e 45 anos, inclusive. No momento da adesão à pesquisa, cada participante foi submetida a uma avaliação clínica/nutricional com a participação de um clínico geral e de uma nutricionista. Nessa consulta as participantes foram informadas sobre o termo de consentimento livre e esclarecido. O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (Protocolo nº 263/04) e está de acordo com as Resoluções 196, 251 e 292/99 do Conselho Nacional de Saúde.

2.3 Alimento-Referência

O alimento-referência é o pão branco. Para cada participante foram fornecidas duas vezes o pão branco. Os cálculos da média, desvio padrão e do coeficiente de variação da área abaixo da curva para esse alimento foram calculados, e os dados foram aplicados na fórmula do IG do alimento-teste (FAO/OMS, 1998).

2.4 Alimento-Teste

Para o primeiro teste foram oferecidas porções de yacon equivalentes a 50 g de carboidrato; na sessão seguinte de testes, porções de yacon desidratada equivalentes a 50 g de carboidrato e, em outra sessão de testes, porções de pão integral com 25% de yacon equivalentes a 50 g de carboidrato. A yacon foi desidratada em estufa de ar circulante por 24 horas a 60 °C. O pão (25% de yacon) foi confeccionado em condições controladas de tempo e

temperatura na padaria do minimercado Degraus, em São José, SC. As figuras 1 e 2 demonstram as amostras dos alimentos que foram oferecidos aos participantes. E a tabela 1 apresenta a quantidade de alimento oferecida aos participantes.



Figura 1. Amostras da yacon *in natura* e desidratadas oferecidas aos participantes (reserva pessoal)

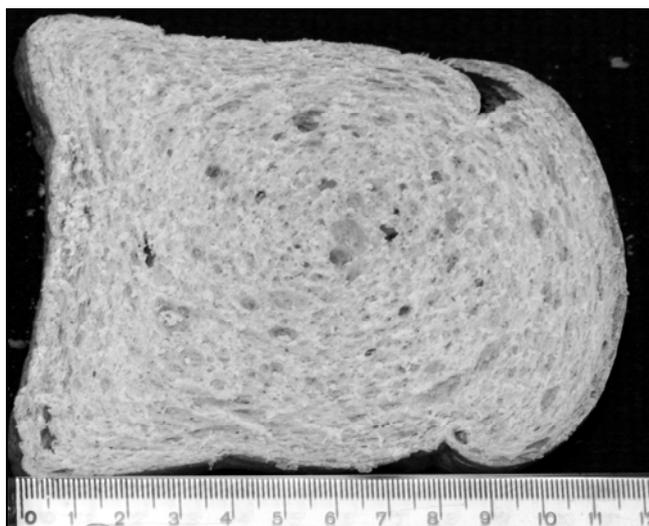


Figura 2. Amostras de pão da yacon oferecidas aos participantes (reserva pessoal)

Tabela 1. Quantidades de alimentos usados para o teste da glicemia

<i>Alimento</i>	<i>Quantidade servida</i>	<i>Medida Caseira</i>	<i>Bibliografia</i>
Pão branco	50 g	1 unidade	FAO/OMS, 1998.
Yacon <i>in natura</i>	250 g	1 unidade	VILHENA, 1996.
Yacon desidratada	79 g	1 pacote	VILHENA, 1996.
Pão com yacon	76 g	2 ½ fatias	Capítulo 3

2.5 Verificação da Resposta Glicêmica Plasmática

2.5.1 Coleta de dados

Foram realizadas sessões de coleta de dados com intervalos de 7 dias. Em cada sessão, media-se a glicemia capilar (na ponta do dedo), por meio do glicosímetro portátil Accu-check Active, e tiras de teste Accu-chek. Cada paciente tinha seu próprio aparelho, lanceta e fitas individuais.

Após o período de jejum de 10 a 12 horas, subsequente à glicemia pré-prandial, as participantes comiam a porção do alimento-teste em quantidade de alimento correspondente a 50 g de carboidratos, ou seja, 50 g para o pão branco (FAO, 1998), 250 g para yacon *in natura*, 79 g para yacon desidratada e 76 g para o pão com yacon (DA SILVA, 2007, dados ainda não publicados).

2.5.2 Cálculo da área abaixo da curva

As áreas sob a curva glicêmica são calculadas geometricamente aplicando-se a regra trapezoidal, que considera apenas a área de incremento glicêmico acima do ponto de jejum, exemplificada a seguir através da figura 3.

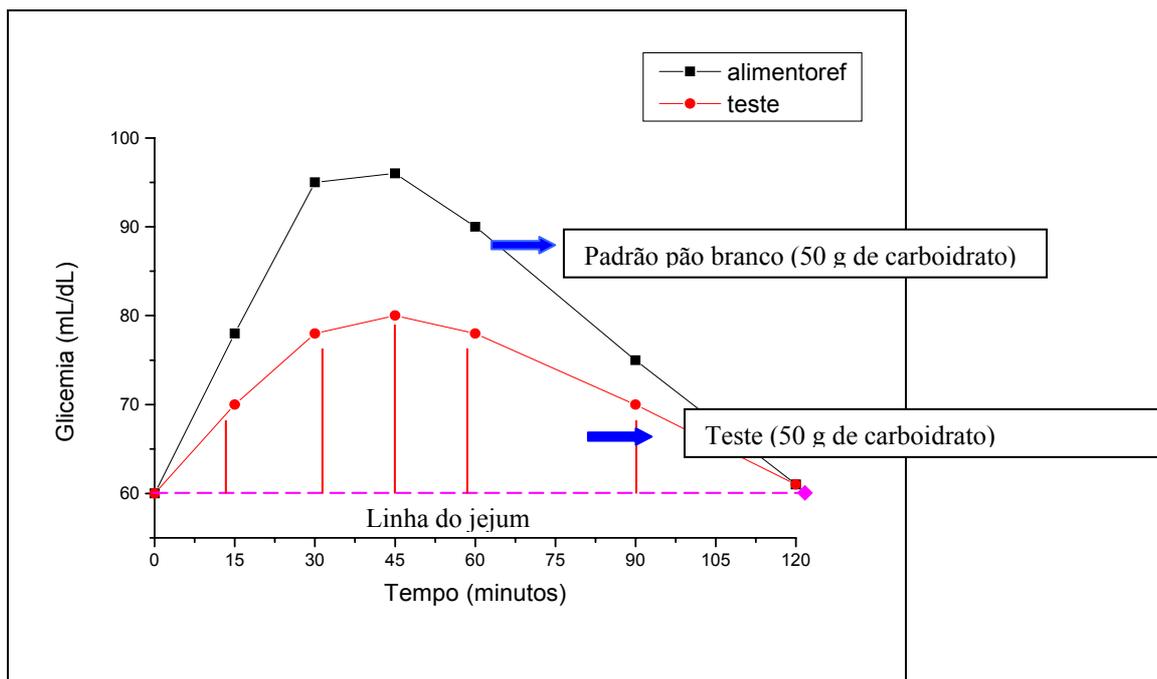


Figura 3. Representação gráfica de curva glicêmica. Dimensionamento para o cálculo da área sob a curva – regra trapezoidal

2.5.3 Cálculo do índice glicêmico

O cálculo do índice glicêmico dos alimentos testados foi realizado pela aplicação da fórmula a seguir.

$$\text{IG} = \frac{\text{Aumento da área abaixo da curva do alimento testado}}{\text{Área correspondente após a mesma porção do alimento padrão}} \times 100$$

Fonte: FAO (1998).

2.6 Análise Estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente por análise de variância simples (ANOVA), com o auxílio do programa ORIGIN 5.0, sendo as diferenças entre as médias significativas quando $p < 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados antropométricos dos 9 indivíduos estão expressos na Tabela 2. Uma paciente foi excluída do estudo por ter engravidado durante a pesquisa. Todas as mulheres escolhidas para participar dos testes apresentam perfil semelhante de peso, altura e idade.

Os valores do IMC se mantiveram dentro da normalidade e não interferiram na resposta glicêmica dos indivíduos. A Tabela 3 apresenta os valores da composição centesimal da yacon *in natura*, desidratada e do pão com yacon. A metodologia usada nos testes seguiu os parâmetros estipulados pela FAO/WHO (1998) para o pão branco. Os cálculos das áreas e o índice glicêmico seguiram os padrões expostos por Wolever (2003), exemplificados na Figura 3, e as quantidades dos alimentos-teste estavam de acordo com dados encontrados na literatura, descritos com detalhes na Tabela 1.

Tabela 2. Características antropométricas de indivíduos selecionados para o estudo da resposta glicêmica

<i>Pacientes</i>	<i>Idade (a)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>IMC* (kg/m²)</i>
01	25	60	1,60	23
02	24	61,9	1,61	23
03	17	59	1,70	20
04	24	63	1,62	24
05	36	54	1,60	21
06	32	60	1,57	24
07	20	60	1,74	20
08	20	60	1,60	23
09	43	60	1,60	23
Média ± SD*	26,77 ± 8,52	59,76 ± 2,47	1,62 ± 0,05	22,33 ± 1,58
CV**	2,84	0,82	0,01	0,52

• Índice de massa corporal * Desvio Padrão ** Coeficiente de variação

Tabela 3. Composição centesimal (g/100 g) dos alimentos testados

<i>Alimento</i>	<i>Umidade (g)</i>	<i>Cinzas (g)</i>	<i>Fibra (g)</i>	<i>Carboidrato (g)</i>	<i>Lipídios (g)</i>	<i>Proteína (g)</i>
Pão branco*	23,93	2,18	0,29	61,50	2,34	9,76
Yacon <i>in natura</i> *	83	0,4	1,26	20	0,26	0,4
Yacon desidratada*	-----	3,56	3,26	63,18	1,66	4,3
Pão de yacon**	34,8493	3,4998	3,6052	65	0,5224	7,9793

* Dados obtidos na bibliografia ** Dados obtidos na análise bromatológica

Houve elevação da glicemia após a ingestão do alimento-referência (pão branco) e teste (yacon *in natura*), conforme mostrado no Gráfico 1. A resposta glicêmica média foi maior após a ingestão de 50 g de pão branco, e menor após a ingestão de 250 g da yacon. O alimento-referência, como era de se esperar, apresentou um aumento da glicemia logo após a ingestão, mantendo-se elevado.

A amostra da yacon *in natura* cultivada na região A produziu um pico glicêmico com elevação intermediária, e logo houve uma queda imediata nos valores de glicemia. Aos 30 minutos, quando houve o pico de glicemia pós-prandial, continuou ocorrendo rápido e considerável aumento nas concentrações de glicose sanguínea para o pão branco.

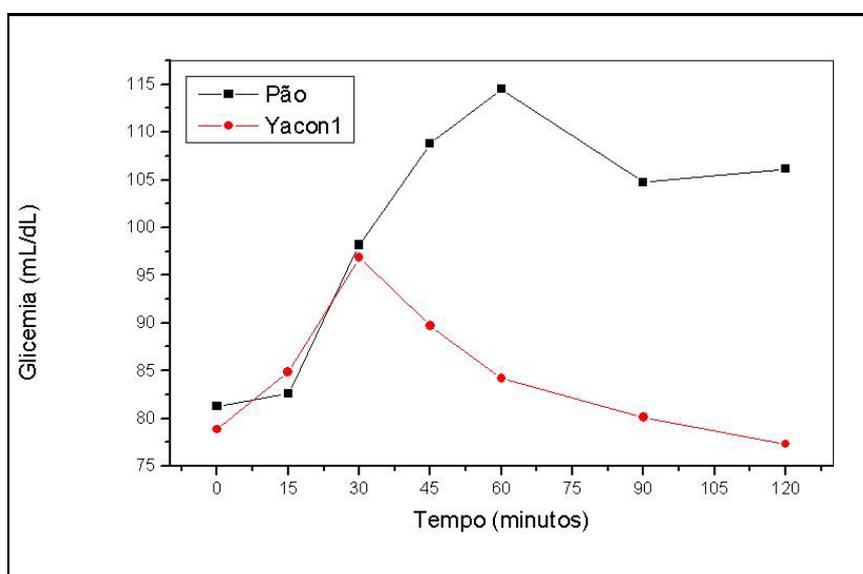


Gráfico 1. Concentrações de glicose sanguínea após a ingestão de 250 g da yacon *in natura* (50 g de carboidrato), Região A, na curva de tolerância à glicose. * Significativo para $p < 0,05$. Os resultados representados são a média \pm SD. Os experimentos foram realizados em duplicatas, em relação ao grupo pão branco (50 g) ($n = 9$)

Os resultados mostram claramente que a yacon provocou um rápido aumento nos primeiros 30 minutos, seguido de uma acentuada queda na glicemia pós-prandial. Isso pode ser atribuído à ação de fatores inerentes ao alimento (natureza do carboidrato de reserva, elevado conteúdo de fibras alimentares, alto teor de água), que podem interferir na digestibilidade e na resposta glicêmica pós-prandial. Não foram encontrados na literatura, até o presente momento, dados referentes ao controle glicêmico pós-prandial para a yacon.

A resposta glicêmica a yacon *in natura* apresentou as menores taxas de glicose, quando comparada com o padrão.

Englyst e Cummings (1992) observaram que dificilmente é possível prever os efeitos fisiológicos de alimentos com carboidratos resistentes a alfa-amilase no intestino delgado.

Relativamente, o rápido e considerável aumento nas concentrações de glicose sanguínea aos 30 minutos é condizente com uma absorção rápida e, provavelmente, com a estimulação da liberação de insulina no sangue, provocando a queda dos níveis glicêmicos seguintes.

Resultados foram obtidos em estudo com diabéticos insulino-dependentes após a ingestão de várias frutas com quantidades elevadas de frutose, que representavam fontes importantes de carboidratos e que foram rapidamente absorvidos. Em pessoas não diabéticas e em diabéticos não insulino-dependentes, a frutose causa apenas um pequeno aumento na glicemia. Se houver deficiência de insulina, ocorrerá uma crescente elevação na resposta glicêmica.

Os dados deste estudo sugerem que, provavelmente, a presença de frutoligossacarídeos na dieta interfere significativamente nas respostas glicêmicas.

Lamentavelmente, limitações de natureza técnico-financeiras não permitem avaliar as respostas à insulina de cada paciente, nem o conteúdo de frutanos em cada amostra, embora se reconheça a importância dessa avaliação em estudos como este. Isso poderá ser realizado em trabalhos futuros e possibilitará a obtenção de dados extremamente úteis à orientação dietética, na medicina e nas indústrias farmacêutica e alimentícia.

Os dados obtidos neste estudo fundamentam a importância da determinação do IG de alimentos contendo FOS, a fim de que se possa selecionar os melhores alimentos ou os mais adequados ao consumo de pessoas portadoras de distúrbios do metabolismo dos carboidratos

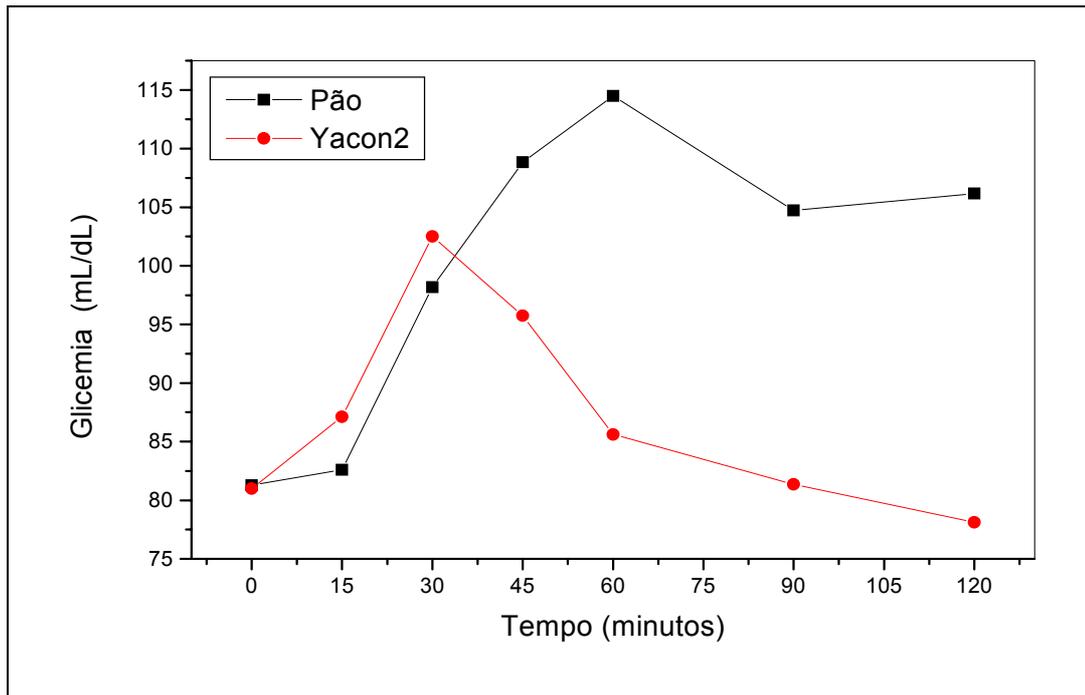


Gráfico 2. Efeito do consumo de 250 g da yacon *in natura* (50 g de carboidrato), cultivada na região C, na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média \pm SD. Experimentos realizados em duplicatas. * Significativo para $p < 0,05$ em relação ao grupo pão branco (50 g) ($n = 9$)

De forma semelhante ao apresentado anteriormente no Gráfico 1, neste Gráfico 2, a yacon *in natura* cultivada na região C apresentou comportamento semelhante no incremento da curva glicêmica, tendo a área abaixo da curva permanecido inferior à área da curva do pão branco.

Os resultados apresentados nos testes realizados com o desidratado da yacon foram os mais satisfatórios em relação ao baixo incremento da curva glicêmica após a ingestão de 50 g de carboidrato da yacon desidratada, conforme apresentado no gráfico 3.

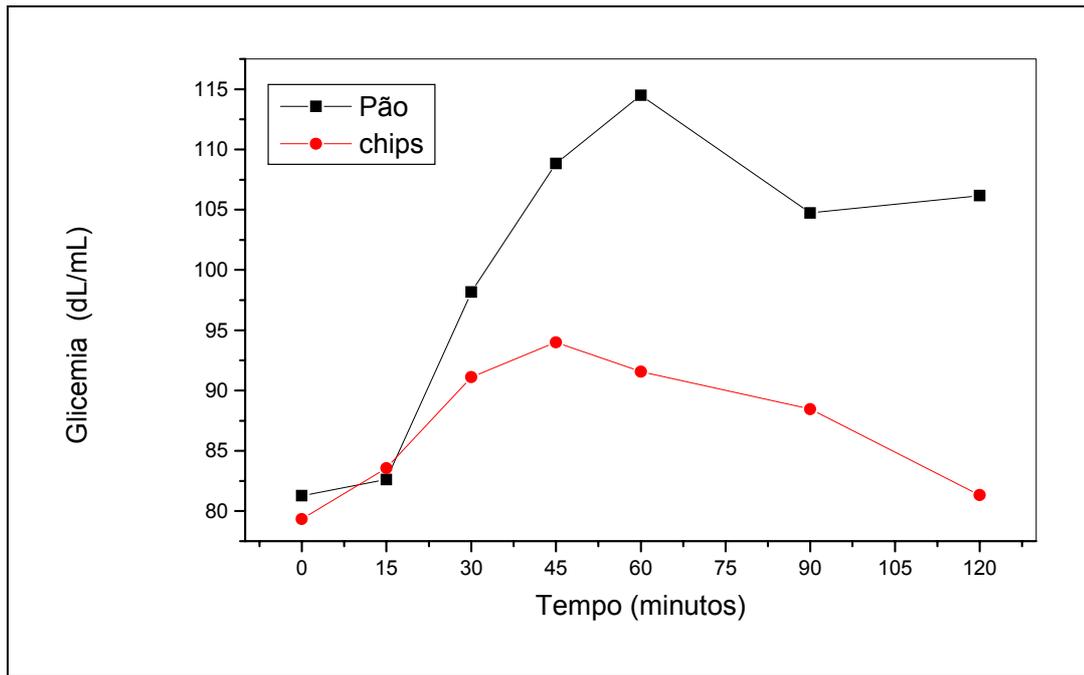


Gráfico 3. Efeito do consumo de 79 g da yacon desidratada (50 g de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média \pm SD. Os experimentos foram realizados em duplicatas. * significativo para $p < 0,05$ em relação ao grupo pão branco (50 g) ($n = 9$)

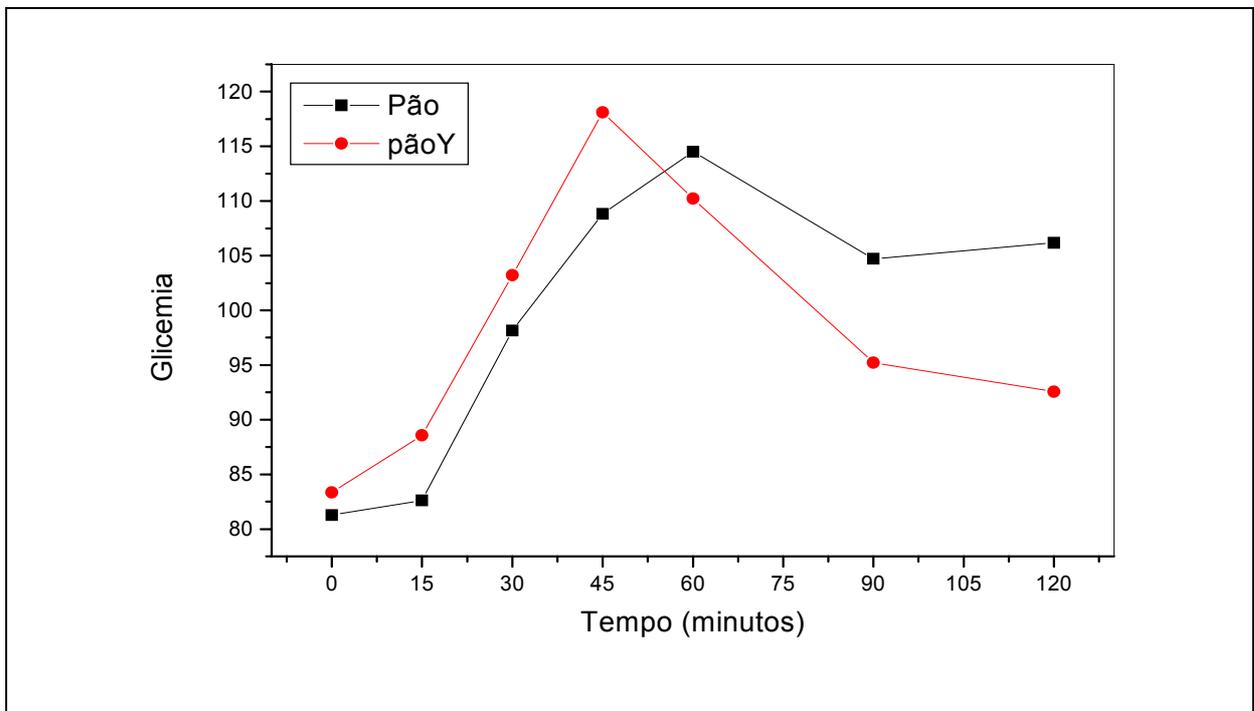


Gráfico 4. Efeito do consumo de 76 g de pão com 25% da yacon *in natura* (50 g de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média \pm SD. Os experimentos foram realizados em duplicatas. * significativo para $p < 0,05$ em relação ao grupo pão branco (50 g) ($n = 9$)

Na curvas individuais, o pão da yacon manteve um comportamento dentro do esperado, conforme apresentado no gráfico 4, por seu teor de yacon e de fibras, mas, na média geral, a curva apresentou resultados semelhantes ao pão branco. Esse resultado, quando analisado à luz dos outros testes realizados com diferentes pães, mostra que o pão da yacon se comportou de forma semelhante ao pão com aveia, ao pão de cevada e a outros pães enriquecidos com fibras que já tiveram seu IG analisado (FOSTER-POWELL, 2002). A A tabela 4 apresenta os valores de glicemia pós-prandial obtidas após o consumo de pão branco, yacon *in natura* (1, 2), yacon desidratada e pão com yacon

Tabela 4. Glicemia plasmática de pão branco, yacon *in natura* (1, 2), yacon desidratada e pão com yacon

Produtos	Glicemia plasmática (mg/dL)						
	Jejum (0)	15	30	45	60	90	120
Pão branco	81,27 ± 5,72	82,61 ± 7,60	98,16 ± 12,93	108,83 ± 13,83	114,5 ± 12,10	104,72 ± 12,68	106,16 ± 70,64
	1,34	1,79	3,04	3,26	2,85	2,98	16,65
Yacon Santo Amaro (1)	78,88 ± 7,38	84,88 ± 4,96	96,88 ± 8,37	89,66 ± 7,71	84,22 ± 8,54	80,11 ± 5,98	77,33 ± 7,5
	2,46	1,65	2,79	2,57	2,84	1,99	2,5
Yacon Urubici (2)	81 ± 7,96	87,12 ± 7,54	102,5 ± 17,30	95,75 ± 9,88	85,62 ± 10,21	81,37 ± 6,45	78,12 ± 9,92
	2,81	2,66	6,11	3,49	3,61	2,28	3,50
Yacon desidratada	79,33 ± 9,05	83,55 ± 5,38	91,11 ± 6,66	94 ± 14,94	91,55 ± 20,08	88,44 ± 18,41	81,33 ± 13,16
	3,01	1,79	2,22	4,98	6,69	6,13	4,38
Pão com yacon	83,33 ± 6,78	88,55 ± 7,76	103,22 ± 17,54	118,11 ± 12,92	110,22 ± 12,56	95,22 ± 6,99	92,55 ± 10,12
	2,26	2,58	5,84	4,30	4,18	2,33	3,37

- Os valores estão expressos em média ± SD e coeficiente de variação.

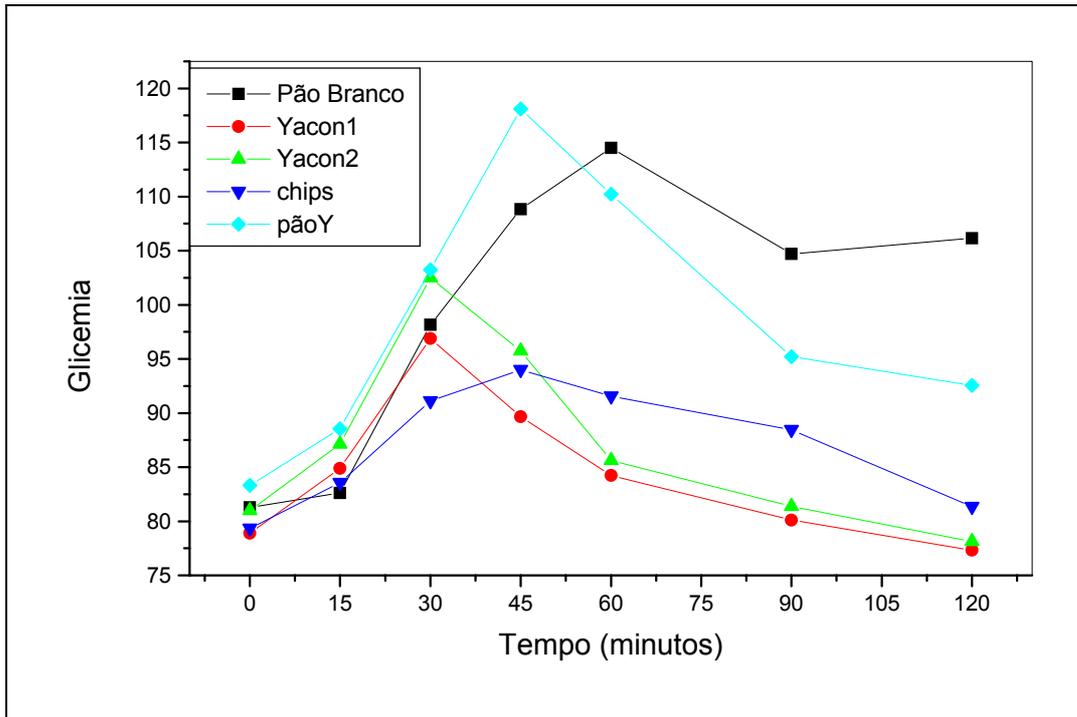


Gráfico 5. Efeito do consumo de 250 g da *yaconin natura* (1, 2), 79 g de desidratado da yacon e 76 g de pão com 25% da yacon (50 g de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. Os resultados são a média. * significativo para $p < 0,05$ em relação ao grupo pão branco (50 g) ($n = 9$)

O Gráfico 5 apresenta a comparação das curvas glicêmicas após o consumo de 250 g da *yaconin natura* (1, 2), 79 g de desidratado da yacon e 76 g de pão com 25% da yacon (50 g de carboidrato), na curva de tolerância à glicose. E a tabela 5 apresenta os valores do Índice glicêmico encontrado para cada alimento oferecido aos participantes.

Tabela 5. Índice glicêmico dos alimentos testados, dados apresentados sobre a média, desvio padrão e coeficiente de variação. Valores de IG em %

<i>Alimento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>SD</i>	<i>CV</i>
Yacon 1	9	30,55%	20,63438	6,87813
Yacon 2	9	33,87%	9,73121	3,4405
Yacon desidratada	9	41,88%	23,90839	7,96946
Pão de Yacon	9	74,11%	19,04235	6,34745

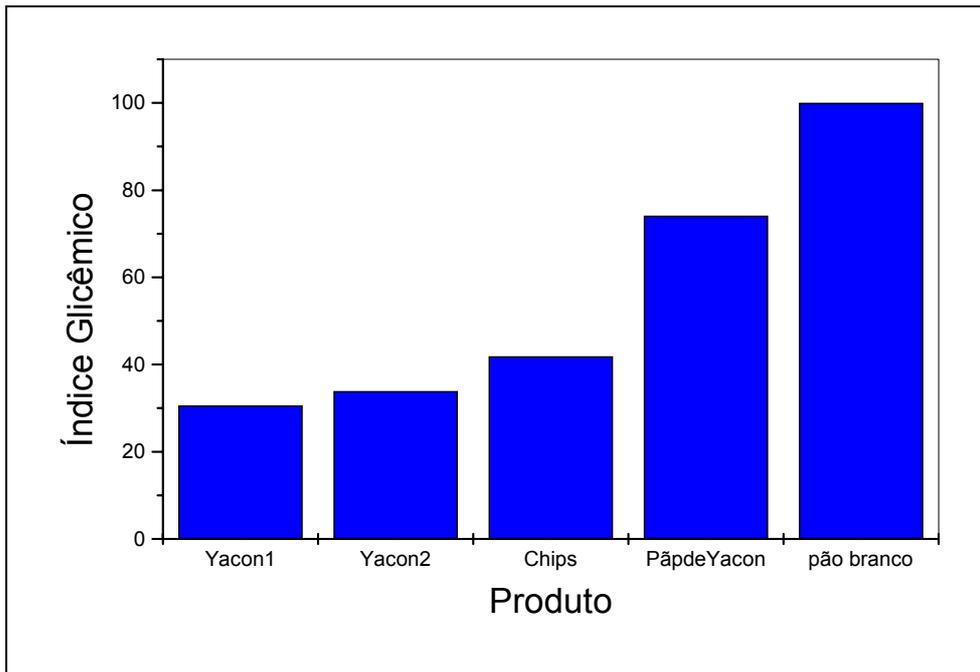


Gráfico 6. Representação gráfica da média do IG para yacon *in natura*, yacon desidratada e pão com yacon comparados com o padrão (n = 9)

A área geométrica sob a curva da resposta glicêmica após 120 minutos mostrou que a yacon *in natura* plantada na região A e na região C apresenta um IG menor (30,55% e 33,87%, respectivamente) em relação ao pão branco e aos outros alimentos. A yacon desidratada apresentou um IG de 41,88%, um pouco superior ao apresentado pela raiz *in natura*, mas consideravelmente baixo quando comparado com o pão branco (Tabela 5).

Todas as amostras testadas apresentaram efeito hipoglicêmico significativo. A amostra da yacon *in natura* (250 g de yacon) das duas regiões apresentou uma queda na glicemia após 30 minutos depois do consumo. A amostra da yacon desidratada reduziu a glicemia lentamente após 1 e 2 horas de tratamento, apresentando uma queda máxima nos níveis glicêmicos após 2 horas de tratamento.

Os dados apresentados nos gráficos demonstram que o pão com adição de 25% de yacon se comporta como o pão branco, com aumento rápido da glicemia, e o pico glicêmico foi após 45 minutos de tratamento, diferenciando-se apenas com o rápido decréscimo da glicemia, quase chegando aos níveis basais 1 hora e 30 minutos após a ingestão do alimento, tendo o pão branco demorado mais para ter a glicose reduzida.

Sabe-se que, quando os níveis glicêmicos estão elevados, o próprio organismo tende a normalizar esses níveis através de três principais vias: (a) estimular a captação de glicose pelos tecidos periféricos (músculo e tecido adiposo); (b) alterar o metabolismo da insulina

(diminuindo a degradação da insulina pelo fígado ou estimulando a secreção de insulina); e (c) inibir a reabsorção de glicose pelos rins, o que resulta na eliminação da glicose pela urina.

O efeito hipoglicêmico das diferentes amostras com yacon, em humanos, indicou que essas amostras podem conter compostos que provavelmente atuam estimulando a utilização da glicose pelos tecidos periféricos ou mesmo impedindo a absorção total dos açúcares presentes na yacon.

A curva de tolerância à glicose é um teste muito utilizado no diagnóstico de diabetes. O indivíduo em jejum recebe uma dose de glicose oralmente, e as concentrações de glicose no sangue são determinadas em intervalos de 30 minutos durante um período de 3 horas. Em indivíduos não-diabéticos, a glicemia é inicialmente aumentada, atinge um pico máximo e posteriormente volta aos valores normais.

Este é um método simples; econômico e reproduzível, que permite verificar se os alimentos ou compostos isolados de plantas são capazes ou não de inibir a absorção de glicose pelo intestino ou estimular a secreção de insulina.

Nas curvas de tolerância à glicose, mostrada nos Gráficos 1, 2, 3 e 4, pode-se observar claramente que, após 15 minutos do consumo do alimento referência (pão branco), os valores de glicemia aumentam consideravelmente até os primeiros 30 minutos, caracterizando o pico de absorção de glicose nesse tempo para pessoas não-diabéticas. Os níveis hiperglicêmicos foram mantidos significativamente altos em relação ao tempo zero dos 15 aos 30 minutos, voltando aos valores basais aos 120 minutos, para todos os alimentos testados, com exceção do pão da yacon, que se manteve elevado, semelhante ao pão branco.

Devido à total ausência de testes semelhantes com a yacon, fica difícil comparar os achados deste trabalho com outros. Estes estudos são de grande importância para o esclarecimento da atividade hipoglicêmica da yacon, porém estudos adicionais como, por exemplo, medidas da insulina no soro, verificação da glicose na urina, estímulo no transporte de glicose no músculo e medidas da atividade da insulinase seriam de extrema relevância para a elucidação do mecanismo de ação.

Rabe e Sievert (1992) observaram a formação de amido resistente na preparação de pães e massas. Considera-se que a recristalização da fração amilose seja um dos principais fatores de formação de amido resistente após o processamento. A retrogradação da amilopectina ocorre mais lentamente quando comparada com a amilose, pois esta fração do amido é muito ramificada. Os polímeros de amilopectina, quando retrogradados, estão fracamente ligados em relação à amilose (ENGLYST et al., 1992).

Partindo do princípio de que somente a fração digerível tem a capacidade de elevar a glicemia pós-prandial (BJÖRK, 1996), alguns autores correlacionam o conteúdo de amido resistente ao IG, uma vez que a fração de amido resistente presente naturalmente ou formada pelo processamento dos alimentos, proporcionalmente, limita a quantidade de carboidrato disponível para a digestão. Truswell (1992) não considera essa relação uma regra, mostrando exemplos como a batata e a banana verde, que, mesmo sendo ricas em amido resistente, apresentam um alto IG.

O pão de yacon apresenta um perfil de 65% de carboidrato, quase 8 g de proteínas, poucos lipídios (0,52 g) e contém quantidade significativa de fibra alimentar (3,6 g). Ao considerar essas características, o pão com 25% da yacon apresenta-se como um produto de excelente valor nutritivo. E pode ser considerado um alimento com alto teor de fibras.

Sendo o pão um produto que está presente nas mesas dos brasileiros, com o seu consumo tendo aumentado nos últimos anos, e pelo fato de o pão da yacon ter apresentado uma aceitação excelente quanto ao seu perfil sensorial e características nutricionais superiores se comparado com pães integrais do mercado, além do seu valor calórico inferior, pode-se sugerir a sua inclusão em programas de controle de peso, ou contagem de carboidratos.

Foi verificada diferença significativa entre as curvas do pão branco e da yacon, desidratado e do pão de yacon, apesar do perfil da curva do pão da yacon ser consideravelmente diferente dos demais.

Para o cálculo do IG é necessária a obtenção da área sob a curva glicêmica, para que seja possível calcular a relação entre o produto-teste e o alimento-referência. A seguir a tabela 6 apresenta os valores das médias das áreas glicêmicas para a yacon (A, C), a yacon desidratada e o pão com yacon.

Tabela 6. Média das áreas glicêmicas para o pão branco, a yacon, a yacon desidratada e o pão com yacon

	<i>Área glicêmica (mg/dL)</i>				
	Pão branco	Yacon A	Yacon C	Yacon “chips”	Pão com yacon
Média	2.473,04	707,5	950,77	1.133,22	1.716,56
SD	552,67	392,49	488,16	811,90	736,45
CV	184,22	130,83	162,72	270,63	260,37

SD: desvio padrão CV: coeficiente de variação

Foi observada diferença estatística significativa entre as curvas de pão branco e os alimentos-teste.

Ao calcular o IG, a variação entre os dados diminui sensivelmente, uma vez que nesse cálculo é respeitada a variação intra-individual, ou seja, a relação entre produto-teste e alimento-referência é calculada com áreas glicêmicas de um mesmo indivíduo. Ao se aplicar a fórmula do IG, são observados valores semelhantes, apesar de áreas tão diferentes entre si.

Quando se avalia a resposta glicêmica em relação ao pão branco, a partir do IG, nota-se que o pão da yacon apresenta comportamento semelhante ao do pão branco, indicando que é um produto que, sendo rapidamente digerido, promove rápido incremento glicêmico pós-prandial. No entanto, apesar de não ser observada diferença estatística significativa entre as curvas médias de pão branco e do pão integral com yacon, pode-se observar singularidades nos perfis, em que a velocidade do incremento e queda da curva glicêmica da yacon é levemente mais acentuada.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre a área da curva do pão branco e da yacon. Isso indica a maior capacidade da yacon em estimular a produção de insulina em relação ao pão branco e pode explicar a maior velocidade de incremento e de queda dos níveis de glicose observados na figuras apresentadas.

Alimento de alto IG possui alta digestibilidade e absorção, e promove a hiperglicemia acompanhada de hiperinsulinemia, que provoca rápida queda dos valores glicêmicos abaixo de níveis basais. Entre os reflexos desse perfil metabólico está uma baixa saciedade, seguida de alto consumo na refeição posterior. Por outro lado, alimentos com baixo IG promoveriam sensação de saciedade e plenitude gástrica (BJÖRK, 1996; BRAND-MILLER, 2002), sendo essa característica sustentada também por Ludwig (2000).

Essa condição de maior saciedade em produtos de baixo IG é reflexo da baixa velocidade de digestão e absorção, o que permite que receptores gastrintestinais sejam

estimulados por maior período, prolongando o *feedback* de hormônios com a CCK e o glucagon, estímulos traduzidos pelo hipotálamo como plenitude gástrica (LAVIN, 1998).

Sugere-se que essa hipótese de mecanismo de saciedade esteja envolvida no controle de peso. Um dos fatores relacionados é o fato de dietas de alto IG promoverem baixa saciedade e efeito compensatório na próxima refeição, com o aumento do consumo além das necessidades energéticas dos indivíduos.

Deve-se salientar que não é necessário ou desejável evitar os alimentos rapidamente digeridos da dieta. Alguns alimentos podem ser boas escolhas em algumas situações e não ser em outras (FAO/WHO, 1998). O IG não pode ser considerado isoladamente na avaliação e na escolha dos alimentos, pois inúmeros fatores nutricionais devem ser considerados. Exemplos claros disso são a cenoura, a banana e a aveia, que são fontes de outros nutrientes importantes e necessários.

São inúmeras as constatações levantadas a respeito das vantagens metabólicas e dos benefícios para o controle e prevenção de doenças crônicas associadas a uma resposta glicêmica. Sugere-se que o planejamento da dieta seja feito como um todo, e não apenas na escolha de alguns alimentos isoladamente; isso quer dizer que alimentos de alto índice glicêmico não precisam ser excluídos da dieta, mas sim consumidos dentro de um planejamento em que o geral das refeições proporcione uma baixa e gradual resposta glicêmica.

4 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos do estudo da resposta glicêmica causada pela ingestão da yacon *in natura* e suas preparações, pode-se concluir que a yacon contém compostos que apresentam atividade hipoglicêmica.

A análise dos resultados obtidos, após os procedimentos realizados de acordo com o protocolo e a metodologia utilizados, permitiu concluir que existe correlação entre a glicemia e a ingestão da yacon ou de alimentos com yacon em pessoas não diabéticas.

Uma vez que se constatou que a yacon *in natura* e a yacon desidratada proporcionam baixas respostas glicêmicas, e o pão da yacon apresenta faixas intermediárias, recomenda-se que o consumo seja incentivado para propiciar uma dieta balanceada e equilibrada, de baixo IG e com adequada resposta glicêmica.

Os estudos sobre o aproveitamento biológico de carboidratos têm tido significativa evolução, não só evidenciando os benefícios dos alimentos de baixo IG, mas demonstrando que seus carboidratos, quando chegam ao intestino grosso, para serem fermentados, produzem outros compostos com inúmeros efeitos positivos na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Ao mesmo tempo, a indústria de alimentos está voltada para a produção de alimentos funcionais, como alimentos de baixo IG e ingredientes pré-bióticos, mostrando que os carboidratos, além de importante participação no setor saúde, também, participam no setor econômico.

Os carboidratos presentes nos alimentos são digeridos e absorvidos ao longo do intestino delgado humano em diferentes velocidades, resultando na produção de variadas respostas glicêmicas. O IG visa classificar os alimentos de acordo com a resposta glicêmica produzida em condições padronizadas. Alimentos de baixo IG proporcionam benefícios para indivíduos saudáveis, obesos, diabéticos e hiperlipidêmicos.

Diversas entidades mundiais têm recomendado a utilização do IG como ferramenta auxiliar na escolha dos alimentos, pois ele é um sensível indicador do impacto que os alimentos causam na resposta glicêmica e é fácil a sua aplicação prática. A utilização do IG na seleção de alimentos deve sempre considerar a metodologia empregada na sua obtenção, não devendo ser empregado de forma isolada, e sim como um parâmetro complementar da composição do alimento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BJÖRK, I., Starch: Nutritional aspects. In Eliasson AC. **Carbohydrates in food**. 2 ed Marcel Dekker; p. 505-553. 1996.

BLANTE JP; LAINE DC; CASTLE GW; THOMAS W; HOOGWERF BJ; GOETZ FC. Postprandial glucose and insulin responses to meals containing different carbohydrates in normal and diabetic subjects. **N Engl J Méd.**, v. 1, n. 7, p. 309, 1983.

BORNET FRJ, BILLAUX MS & MESSING B., Glycaemic index concept and metabolic diseases. **Int J Biol Macromol**, v. 21. p. 207-219, 1997.

BRAND-MILLER, J. Importance of glycemic index in diabetes. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 59, suppl., p. 747S-752S, 1994.

BRAND-MILLER, J.; GILBERTSON, H. Practical aspects of meal planning using the glycemic index. Workshop: Glycemic index and health: the quality of the evidence. FAO/Danone Vitapole, **Bandol**, France, 2002.

BUYKEN, A.E.; TOELLER, M.; HEITKAMP, G.; KARAMANOS, B.; ROTTIERS, R.; MUGGEO, M. Glycemic index in the diet of European outpatients with type 1 diabetes: relations to glycated hemoglobin and serum lipids. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 73, p. 574-81, 2001.

CARREIRA, MC Índice glicêmico de alimentos brasileiros: efeito do armazenamento sob baixa temperatura (-20°C). 2001. 87p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo.

CRAPO, P.A.; REAVEN, G.; OLEFSKY, J. Plasma glucose and insulin responses to orally administered simple and complex carbohydrates. **Diabetes**, v. 25, p. 741-747, 1976.

CRAPO, P. A.; HENRY, R. R. Postprandial metabolic responses to the influence of food form. **Amer. J. Clin. Nutr.**, v. 48, n. 3, p. 560-564, 1988.

CRAPO PA; REAVEN G.M.; OLEFSKY J. Postprandial plasma-glucose and insulin: responses to different complex carbohydrates; **Diabetes**, v. 12, p. 1178-1183, 1977.

DANONE VITAPOLE/ FAO. Glycemic index and health: the quality of the evidence. John Libbey Eurotext. **Nutrition and Health Collection**, France, 2001. 48 p.

ENGLYST HN, KINGMAN SM, CUMMINGS JH, Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 46, p. S33-S50, 1992.

ENGLYST, HN; HUDSON, GJ The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chem.**, v. 57, n. 1, p. 15-21, 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/ WORLD HEALTH ORGANIZATION (FAO/ WHO) Carbohydrates in human nutrition. **Food and Nutrition**. Roma: FAO, 140p. 1998.

FOSTER-POWELL K., HOLT S.H.A, BRAND-MILLER J.C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 76 n. 5, p. 56, 2002.

FROST G, WILDING J, BEECHAM J. Dietary advice based on the glycemic index improves dietary profile and metabolic control in type2 diabetic patients. **Diab. Med.**, v. 11, p. 397-401, 1994.

GALLANT DJ, BOUCHET B, BULÉON A, PÉREA S. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. **Eur. J. Clin. Nutr.**; v. 46, p. S3-16. 1992.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **J. Nutr.**, Cambridge, Inglaterra, v. 125, n.6, p.1401-1412, 1995.

HATA, Y.; HARA, T.; OIKAWA, T.; YAMAMOTO, M.; HIROSE, M.; NAGASHIMA, T.; TORIHAMA, N.; NAKAJIMA, K.; WATABE, A.; YAMASHITA, M. The effect of oligofructans (Neosugar) on hyperlipemia. **Clinics in Geriatric Medicine**, v. 21, p. 156-167, 1983.

JENKINS DJ, KENDALL CW, AUGUSTIN LS, FRANCESCHI S, HAMIDI M, MARCHIE A, ET AL. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 76, p. 266S-73S, 2002.

JENKINS, D. J. A.; GOOF, D. V.; LEEDS, A. R.; ALBERTI, K. G. M. M.; WOLEVER, T. M. S.; GASSULL, M. A. Unabsorbable carbohydrates and diabetes: decreased post prandial hyperglycemia. **The Lancet.**, v. 24, p. 172-174, 1976.

JENKINS DJA, WOLEVER TMS, TAYLOR RH, BARKER H, FIELDER H, BALDWIN JM, BOWLING AC, NEWMAN HC, JENKINS AL, GOOF DV. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrates exchange. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 34, p. 362-366, 1981.

JENKINS DJA, WOLEVER TMS, VUKSAN V, RAO V, THOMPSON LU, JOSSE RG. Low glycemic index: lent carbohydrates and physiological affects of altered food frequency. **Am L Clin. Nutr.**, v. 59, p. 706S, 1994.

LAVIN, JH., WITTER GA, ANDREWS J., interation of insulin, glucagon like-peptide 1, gastric inhibitory polypeptide, and appetite in response to intraduodenal carbohydrate. **Am J Clin. Nutr.**, v. 68, p. 591-598, 1998.

LIU S, MANSON JE, STAMPFER, MJ, HOLMES MD, HU FB, HANKINSON, SE, WILLETT, WC Dietary glycemic load assessed by food-frequency questionnaire in relation to plasma high-density-lipoprotein cholesterol and fasting plasma triaylycerols in postmenopausal women. . **Am J Clin Nutr**, v. 73, p. 560-566. 2001.

LUDWIG DS. Dietary glycemic index and obesity. **Journal Nutrition**, v. 130, p. 280-280, 2000.

LUO, J.; QUAN, J.; TSAI, J.; HOBENSACK, C.K.; SULLIVAN, C.; HECTOR, R.; REAVEN, G. M. Nongenetic mouse models of non-insuline-dependent diabetes mellitus. **Metabolism, Clinical and Experimental**, v. 47, n. 6, p. 663-668, 1996.

MENEZES, E.W.; LAJOLO, F.M.; SERAVALLI, E.A.G.; VANNUCCHI, H.; MOREIRA, E.A. Starch availability in Brazilian foods: "in vivo" and "in vitro" assays. **Nutr. Res.**, v. 16, n. 8, p. 1425-1436. 1996.

NATIONAL ACADEMIC SCIENCES. Dietary Reference Intake: application in Dietary Assessment. Washington DC, **National Academic Press**, 2000.

OTTO H, BLEYER G, PENNARTZ M, SABIN G, SCHAUBERGER G, SPAETHE K. Kohlenhydrataustausch nach biologischen äquivalenten. (Carbohydrate exchange according to biological equivalents.) Diätetik bei diabetes mellitus. Bern, Switzerland: Huber: p. 41-50. 1973

OTTO H, NIKLAS L. Different glycaemic responses to carbohydrate-containing foods. Implications for the dietary treatment of diabetes mellitus. **Hyg (Geneve)**, v. 38, p. 3424-3429, 1980.

ROBERFROID, M. Dietary Fiber, Inulin, and Oligofructose: A Review Comparing their Physiological Effects. *Critical Rev. **Fd. Sci. Nutr.***, v. 33, p. 103-148, 1993.

ROBERFROID, M. B. Health benefits of non-digestible oligosaccharides. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 427, p. 211-19, 1997.

SPIEGEL, J. E.; ROSE, R.; KARABELL, P. Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. **Food Technology**, Boston, v. 48, p. 85-89, 1994.

TEIXEIRA, M.G; TEIXEIRA, W.G.J. Fibras intestinais **Rev. Rras. Nutr. Clin.**, v. 12, p.155-160, 1997.

TRUSWELL, AS. Glycaemic index of foods. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 46, p. S91-S101. 1992.

VILHENA, S. M. C. Ciclo de cultivo e técnicas pós-colheita da yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.) em função do conteúdo de frutose total nos órgãos subterrâneos. 2001. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, T.S.; SILVA, V.T.A. Cultivo y industrialización de "yacon" (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.): una experiencia brasileira. WORLD CONGRESS ON MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS FOR HUMAN WELFARE, 2. Mendonza, 1996. **Abstracts**. Mendonza, ICMAP/ISHS/SAIPA, Abstract P-088.

WOLEVER T, The glycaemic index. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 62, p. 120-185, 1990.

WOLEVER TM, JENKINS DJ, JENKINS AL, JOSSE RG. The glycaemic index: methodology and clinical implications. **Am J Clin Nutr** v. 54, p. 846-54, 1991.

WOLEVER TMS, Dietary carbohydrates and insulin action in humans. **Br J Nutr**. v. 83, Suppl., p. S97-S102, 2000.

WOLEVER TMS, NUTTALL FQ, LEE R, WONG GS, JOSSE RG, CSIMA A & JENKINS DJ Prediction of the relative blood glucose response of mixed meals using the white bread glycemic index. **Diabetes Care**, v. 8, p. 418-428, 1985.

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