



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**RAQUEL MACEDO DANTAS COELHO**

**ELABORAÇÃO DE PÓ DO SUCO DE LIMÃO PREBIÓTICO DESIDRATADO EM  
SECADOR EM LEITO DE JORRO**

**Fortaleza**

**2013**

**RAQUEL MACEDO DANTAS COELHO**

**ELABORAÇÃO DE PÓ DO SUCO DE LIMÃO PREBIÓTICO DESIDRATADO EM  
SECADOR DE LEITO DE JORRO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Área de concentração:** Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Enzimática e Microbiana

**Orientadora:** Profa. Dra. Sueli Rodrigues

**Co-orientador:** Prof. Dr. Jose Maria Correia da Costa

**Fortaleza**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- C619e Coelho, Raquel Macedo Dantas.  
Elaboração de pó do suco de limão prebiótico desidratado em secador de leite de jorro/ Raquel Macedo Dantas Coelho. – 2013.  
75 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2013.  
Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Produtos de Origem Enzimática e Microbiana.  
Orientação: Profa. Dra. Sueli Rodrigues.  
Coorientação: prof. Dr. Jose Maria Correia da Costa.
1. Suco de limão - desidratação. 2. Secagem. 3. Prebióticos. I. Título.

# **ELABORAÇÃO DE PÓ DO SUCO DE LIMÃO PREBIÓTICO DESIDRATADO EM SECADOR DE LEITO DE JORRO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sueli Rodrigues (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará

---

Dr. Edy Sousa de Brito  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

---

Dra. Nair do Amaral Sampaio Neta  
Universidade Federal do Ceará

**Fortaleza**

**2013**

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a realização de mais uma conquista e por me ajudar a superar todas as dificuldades que surgiram durante essa caminhada.*

*Aos meus pais por terem sido sempre exemplo de superação, dedicação e esperança e por me amarem incondicionalmente.*

*Aos meus irmãos Rayssa Macedo e Hugo Macedo pelo apoio e cumplicidade.*

*Ao meu amado esposo Pedro Gurgel, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, pela compreensão e incentivo.*

*À todos os meus avôs, tios, tias e primos pelo incentivo e exemplo de vida.*

*À professora Sueli Rodrigues por sua orientação, pela oportunidade, compreensão, ensinamentos e pelo exemplo de profissional ética e competente.*

*Ao professor José Maria Correia da Costa pela co-orientação e ao professor Marcos Rodrigues Amorim, à Dra. Henriette Azeredo, Dra. Nair Sampaio e ao Dr. Edy Sousa que gentilmente aceitaram participar da banca examinadora e contribuíram para o enriquecimento desse trabalho.*

*À todos os amigos do Laboratório de Biotecnologia (Labiotec) pela parceria e amizade.*

*À Cláudia Patrícia e à Ana Raquel pela amizade, por dividir conhecimentos, e pela ajuda nas análises cromatográficas.*

*Aos meus amigos de graduação, Valéria Oliveira, Tiago Albuquerque, Micael Andrade e Roseane Arcanjo, por todos esses anos de amizade, cumplicidade e alegrias. Onde vocês estão não há espaço para a tristeza.*

*Aos meus amigos da pós-graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos. Em especial a Daiana Andrade, Silas Rafael, Solane Rocha e Mayrla Lima pela amizade, e pela parceria.*

*Às minhas grandes amigas Daiana Andrade e Mariana Santiago por toda amizade, incentivo e ajuda nos momentos difíceis. Vocês são um presente de Deus na minha vida.*

*À Universidade Federal do Ceará por ter contribuído para a minha formação profissional.*

*À Capes pelo auxílio financeiro.*

*“Nossos conhecimentos fizeram-nos céticos, nossa inteligência, empedernidos e cruéis. Pensamos em demasia e sentimos bem pouco. Mas do que de máquinas, precisamos de humanidade. Mais do que de inteligência, precisamos de afeição e doçura. Sem essas virtudes, a vida será de violência e tudo será perdido.”*

*(O último discurso, do filme O Grande Ditador)*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

Dentre os vários alimentos que fazem parte do grupo dos funcionais, os alimentos prebióticos tem um destaque importante por auxiliarem no bom funcionamento do intestino. A síntese de oligossacarídeos com propriedades prebióticas pode ser realizada aproveitando os açúcares presentes nos sucos de frutas. Porém, os sucos necessitam de técnicas de preservação que garantam a sua estabilidade. A secagem de sucos em leito de jorro tem se mostrado uma alternativa viável para elaboração de suco em pó. Entretanto, a aplicação desse processo em alimentos ricos em açúcares pode ser complicada devido à baixa temperatura de transição vítrea destes compostos, que contribui para a obtenção de pós higroscópicos e aglomerados. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um suco prebiótico de limão e posteriormente desidratá-lo em secador de leito de jorro, elaborando um suco em pó prebiótico de limão. O suco de limão foi inicialmente caracterizado e os oligossacarídeos prebióticos foram obtidos através da síntese enzimática com a dextrana-sacarase. Essa enzima consome os açúcares presentes no suco (sacarose, glicose e frutose) para produzir dextrana e oligossacarídeos prebióticos. A fim de verificar as melhores condições para a obtenção dos oligossacarídeos, foi realizado um planejamento experimental com 11 pontos variando as concentrações de sacarose e açúcar redutor (glicose e frutose). O suco prebiótico de limão foi desidratado em leito de jorro nas temperaturas de 60°C (10, 15 e 20% - p/p de maltodextrina) e 70°C (10, 15% - p/p de maltodextrina). Os pós obtidos foram avaliados em relação ao rendimento do processo, umidade, Atividade de água, tempo de reconstituição, higroscopicidade e grau de *caking*. Posteriormente o suco em pó foi reconstituído e caracterizado físico-quimicamente. A síntese dos oligossacarídeos foi favorecida pela combinação do aumento das concentrações de sacarose (75 g/L) e de açúcar redutor (75 g/L). Utilizando 10% (p/p) de maltodextrina não foi possível coletar pó. Observou-se que maiores concentrações desse agente diminuem a higroscopicidade e a aglomeração dos pós. O pó escolhido para a reconstituição foi desidratado a 70°C com 15% (p/p) de maltodextrina, tendo em vista que esse pó apresentou maior rendimento e menor atividade de água. A comparação das características físico-químicas do suco de limão, do suco prebiótico e do suco reconstituído, evidencia que a secagem em leito de jorro praticamente não altera as características originais do suco de limão, comprovando que esse método de secagem pode ser empregado para obtenção de suco prebiótico de limão em pó, garantido um produto de alta estabilidade e com suas propriedades conservadas.

Palavras-chave: Prebióticos, suco de limão, secagem em leito de jorro.

## ABSTRACT

Among the various foods called functional foods, prebiotics are important substances for the proper functioning of the intestine. The synthesis of oligosaccharides with prebiotic properties can be realized taking advantage of the sugars present in the fruit juice. However, the juices require preservation techniques to ensure its stability. Drying in spouted bed has been shown to be a viable alternative for the preparation of powdered juices. However, the application of this process on foods rich in sugars can be complicated due to the low glass transition temperature of these compounds, which contributes to obtain hygroscopic powders and agglomerates. Thus, the aim of this study was to develop a prebiotic lemon juice dehydrated in spouted bed, producing a prebiotic powdered. Lemon juice was initially characterized and prebiotic oligosaccharides were obtained by enzymatic synthesis with dextran sucrose. This enzyme consumes the sugars present in the juice (sucrose, glucose and fructose) to produce dextran and prebiotic oligosaccharides. In order to determine the best conditions for obtaining oligosaccharides, an experimental design was carried out with 11 points changing the concentrations of sucrose and reducing sugar (glucose and fructose). The prebiotic lemon juice was dehydrated in a spouted bed at temperatures of 60 ° C (10, 15 and 20% - w/w maltodextrin) and 70 ° C (10% 15 - w/w maltodextrin). The following parameters of the powders were evaluated: yield, moisture, water activity, reconstitution time, degree of hygroscopicity and caking. The juice powder was also reconstituted and physicochemically characterized. The synthesis of oligosaccharides was enhanced by the combination of high concentrations of sucrose (75 g/ L) and reducing sugar (75 g/L). Using 10% (w/w) of maltodextrin it was not possible to collect dust from the spouted bed. At higher the concentration of maltodextrin the lower hygroscopicity and agglomeration of powders were obtained. The powder chosen for reconstitution was dehydrated at 70 ° C with 15% (w/w) of maltodextrin because this powder presented higher yield and lower water activity. The comparison between lemon juice and the reconstituted prebiotic juice showed that the drying process in spouted bed did not change the properties of the raw material, attesting that this method can be used to obtain prebiotic lemon juice powder with good stability and quality.

Keywords: Prebiotics, lemon juice, spouted bed drying.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Planejamento experimental compósito central $2^2$ para síntese de oligossacarídeos prébióticos no suco de limão .....	36
Tabela 2. Caracterização físico-química do suco de limão .....	43
Tabela 3. Planejamento experimental e resultados obtidos de oligossacarídeos prébióticos, dextrana e rendimentos em oligossacarídeos e dextrana .....	46
Tabela 4. Planejamento experimental e resultados obtidos de açúcares totais consumidos .....	46
Tabela 5. Efeitos estimados para concentração e rendimento de oligossacarídeos e dextrana e para açúcares totais consumidos.....	47
Tabela 6. Análise de variância (Eqs. 12 a 14) .....	49
Tabela 7. Umidade, atividade de água e rendimento do pó do suco de limão prebiótico ...	56
Tabela 8. Tempo de reidratação, higroscopicidade e grau de <i>caking</i> do pó do suco de limão prebiótico .....	57
Tabela 9. Características físico-químicas do suco de limão, suco prebiótico e suco reconstituído .....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de recobrimento, secagem, quebra e arraste da película de suspensão na secagem em leito de jorro com inertes (TRINDADE, 2004) .....	27
Figura 2. Esquema de funcionamento do leito de jorro (MELO et al., 2010).....	28
Figura 3. O leito de jorro com suas regiões características .....	29
Figura 4. Leito de jorro.....	39
Figura 5. Oligossacarídeos prebióticos obtidos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores.....	51
Figura 6. Rendimento em oligossacarídeos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores .....	52
Figura 7. Açúcares totais consumidos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores .....	53
Figura 8. Oligossacarídeos detectados através de cromatografia de camada delgada.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FOS – Frutooligossacarídeos

GP – Grau de polimerização

AGCC – Ácidos graxos de cadeia curta

PM – Peso molecular

Tg – Transição vítrea

DE – Dextrose equivalente

HPLC – Cromatografia líquida de alta eficiência

PEG – Polietileno glicol

CCD – Cromatografia em camada delgada

ART – Açúcares redutores totais no início do ensaio

ARSUCO – Açúcares redutores do suco de limão

ARCF – Açúcares redutores residuais do caldo fermentado

AT–Açúcares totais

ARF – Açúcares redutores no final do ensaio

ATCONS – Açúcares totais consumidos no ensaio

Sac – Sacarose

ARCONS – Açúcares redutores consumidos no ensaio

OLIGO – Oligossacarídeos

DXT – Dextrana

YOLIGO – Rendimento em oligossacarídeos

YDXT – Rendimento em dextrana

IR – Índice de refração

pH – Potencial hidrogeniônico

Aw – Atividade de água

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	- 13 -
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	- 15 -
2.1. Alimentos Funcionais .....	- 15 -
2.2. Prebióticos .....	- 17 -
2.3. Tipos de Oligossacarídeos Prebióticos .....	- 18 -
2.4. Benefícios do consumo de oligossacarídeos prebióticos a saúde .....	- 19 -
2.5. Produção e síntese de Oligossacarídeos Prebióticos.....	- 20 -
2.6. Suco de Frutas.....	- 21 -
2.7. Suco de Limão .....	- 22 -
2.8. Desidratação de Suco de Frutas .....	- 23 -
2.9. Temperatura de Transição Vítrea e o Fenômeno de <i>Stickness</i> .....	- 24 -
2.10. Adjuvantes de Secagem .....	- 25 -
2.11. Secagem em Leito de Jorro.....	- 26 -
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	- 31 -
3.1. Preparo do suco de limão .....	- 31 -
3.2. Caracterização físico-química do suco de limão, do suco de limão prebiótico e do suco de limão prebiótico reconstituído .....	- 31 -
3.2.1. Determinação do pH.....	- 31 -
3.2.2. Determinação do teor de sacarose e açúcares redutores através de cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC).....	- 31 -
3.2.3. Ácido Ascórbico.....	- 32 -
3.2.4. Sólidos Solúveis Totais .....	- 33 -
3.2.5. Acidez Titulável .....	- 33 -
3.2.6. Umidade .....	- 33 -
3.2.7. Atividade de água (Aw) .....	- 33 -
3.2.8. Análise da cor.....	- 34 -
3.2.9. Flavonóides Amarelos.....	- 34 -
3.3. Produção da enzima .....	- 34 -
3.4. Síntese enzimática dos oligossacarídeos prebióticos no suco de limão.....	- 35 -
3.5. Identificação dos oligossacarídeos formados por Cromatografia em Camada Delgada (CCD).....	- 37 -
3.6. Determinação da dextrana .....	- 38 -

3.7. Secagem do suco de limão prebiótico.....	- 38 -
3.8. Caracterização do pó do suco de limão prebiótico .....	- 40 -
3.8.1. Determinação da higroscopicidade do pó .....	- 40 -
3.8.2. Análise do tempo de reconstituição do pó .....	- 41 -
3.8.3. Determinação do grau de “caking” .....	- 41 -
3.8.4. Cálculo do rendimento .....	- 42 -
3.9. Reconstituição do pó do suco de limão prebiótico .....	- 42 -
3.10. Análises Estatísticas.....	- 42 -
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	- 43 -
4.1. Caracterização físico-química do suco de limão .....	- 43 -
4.2. Síntese enzimática de oligossacarídeos prebióticos no suco de limão .....	- 45 -
4.3. Secagem do Suco Prebiótico de Limão .....	- 54 -
4.4. Comparação entre as características físico-químicas do suco de limão, suco prebiótico e suco reconstituído .....	- 59 -
5. CONCLUSÕES.....	- 61 -
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 62 -

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna preocupa-se cada dia mais com a qualidade de vida, o que reflete diretamente em uma maior procura por alimentos mais saudáveis e que, além de apresentarem propriedades nutricionais, também ofereçam outros benefícios à saúde. Dessa forma, o consumo e o desenvolvimento de alimentos que possuem alegações funcionais vêm crescendo de maneira significativa. Uma vez que, esses alimentos funcionais são semelhantes em aparência aos alimentos convencionais e, quando consumidos como parte da dieta, são capazes de promover efeitos benéficos a saúde.

Dentre os alimentos funcionais, os prebióticos merecem destaque por contribuir para o bom funcionamento do intestino. Eles podem ser definidos como ingredientes alimentares não digeríveis que afetam benéficamente o hospedeiro por estimularem seletivamente o crescimento e/ou atividade de bactérias desejáveis no cólon, tais como as *Bifidobactérias* e os *Lactobacillos* (RASTALL, 2010 e BLAUT, 2002).

Os prebióticos podem ser obtidos via processo enzimático utilizando a enzima dextrana-sacarase, que é uma transglicosidase, e pode ser obtida a partir da fermentação do *Leuconostoc mesenteroides* em um meio que contenha sacarose como fonte de carbono. Esta enzima pode ser utilizada para a síntese de dextrana em um meio contendo sacarose como substrato (VERGARA, 2007). Entretanto, quando além de sacarose um segundo substrato também é utilizado como aceptor (maltose, frutose, glicose), parte das unidades de glicose provenientes da quebra da sacarose promovida pela enzima é desviada da cadeia de dextrana sendo incorporadas neste segundo substrato, formando oligossacarídeos de interesse técnico. Esta reação secundária é denominada reação do aceptor (RABELO et al., 2005).

Uma vez sintetizados, os prebióticos podem ser adicionados em vários tipos de alimentos, bastando que eles apresentem carboidratos em sua composição para que sejam susceptíveis à suplementação. Os alimentos mais comuns nos quais são adicionados prebióticos como ingrediente são: leites fermentados, bebidas, produtos de panificação, molhos, cereais, biscoitos, sopas, sobremesas, produtos lácteos, entre outros (GIBSON, 2004).

Juntamente ao consumo e à produção de alimentos funcionais, o mercado de suco de frutas vem crescendo de forma significativa, o que está despertando o interesse em produzir sucos de frutas contendo prebióticos e probióticos (RENUKA et al., 2009).

Dentre os sucos, o de limão se destaca por ser fonte de vitamina C, flavonóides, óleos essenciais, fibras alimentares, ácido cítrico e sais minerais (potássio, por exemplo), que oferecem numerosos benefícios à saúde (GONZÁLEZ-MOLINA et al., 2008).

Contudo, os sucos de frutas são alimentos altamente perecíveis, devido à alta atividade de água. Dessa forma, é indispensável a aplicação de técnicas de conservação, como a secagem, com o intuito de prolongar a vida útil desse produto, de reduzir custos de embalagem, armazenamento e transporte, e de facilitar sua manipulação e distribuição (GOULA e ADAMOPOULOS, 2010).

A secagem em leito de jorro produz sucos em pó com boa estabilidade microbiológica, uma vez que esses secadores estão entre os sistemas mais utilizados para a secagem de sólidos, suspensões, polpas e pastas, principalmente devido às vantagens de altas taxas de transferência de calor e de massa entre os sólidos e o ar, resultando em baixos tempos de secagem (CABRAL et al., 2007). No entanto, esse tipo de secagem pode ser complexa para alimentos ricos em açúcares como os sucos de frutas, já que esses compostos possuem baixa temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>), o que faz com que sejam muito higroscópicos e percam a livre fluidez. Porém, esses problemas podem ser evitados ou minimizados utilizando agentes de secagem como a maltodextrina (OLIVEIRA, 2008).

Portanto, considerando a importância dos alimentos funcionais na saúde, os benefícios ocasionados pela ingestão de oligossacarídeos prebióticos, a grande disponibilidade de suco de frutas no mercado brasileiro e a secagem em leito de jorro como método de conservação, o desenvolvimento de novos produtos que englobem esses conceitos deve ser estimulado, a fim de ofertar alimentos que aliem praticidade, qualidade e saúde para o consumidor. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um suco prebiótico de limão e posteriormente desidratá-lo em secador de leito de jorro, elaborando um novo produto: o suco em pó prebiótico de limão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Alimentos Funcionais

O conceito de alimentos funcionais foi lançado pelo governo Japonês na década de 1980 através de um programa que tinha como objetivo desenvolver alimentos saudáveis para uma população que envelhecia e apresentava uma grande expectativa de vida (ANJO, 2004). Atualmente, as definições atribuídas ao termo “alimentos funcionais” são diversas, variando entre os profissionais da área e de acordo com a legislação de cada país.

Segundo a Legislação Brasileira, alimento funcional é todo alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica (ANVISA, 2008).

Do ponto de vista prático os alimentos funcionais devem promover efeitos benéficos à saúde além do valor nutritivo inerente à sua composição química, sendo apresentados na forma de alimentos comuns (SOUZA, et al., 2003). Ou seja, alimento funcional são todos os alimentos ou bebidas que, quando consumidos na alimentação cotidiana, podem trazer benefícios fisiológicos específicos, graças à presença de ingredientes fisiologicamente saudáveis (CÂNDIDO & CAMPOS, 2005). Pode ser um alimento natural; um alimento ao qual foi adicionado um componente, ou um alimento ao qual foi removido um componente através de processos tecnológicos ou biotecnológicos. Também poderá ser um alimento cuja natureza ou a biodisponibilidade de um ou mais componentes foi modificada, ou qualquer combinação destas possibilidades (ROBERFROID, 2002).

Os alimentos funcionais não constituem um grupo homogêneo, portanto, suas características não podem ser generalizadas, pois existem diferenças claras entre os produtos alimentícios ditos funcionais. Os principais grupos biologicamente ativos atualmente conhecidos como ingredientes funcionais são as fibras solúveis e insolúveis, flavonóides, carotenóides, fitosteróis, fitostanóis, ácidos graxos (ômega 3 e ômega 6), prebióticos e probióticos (BELLO, 1995; TORRES, 2001).

Esses grupos de alimentos constituem hoje a prioridade de pesquisa nas áreas de nutrição e tecnologia de alimentos, levando-se em conta o interesse do consumidor em



alimentos mais saudáveis, que além de nutrir possam modelar o sistema fisiológico do organismo (BORTOLOZO e QUADROS, 2007).

Saher et al. (2004) ao estudarem a impressão que consumidores têm a respeito de alimentos funcionais, observaram que estes produtos são associados a uma imagem positiva com relação aos benefícios à saúde, sendo considerados um novo caminho para se obter uma alimentação saudável. Além disso, representam inovação quando comparados aos alimentos convencionais.

O interesse no desenvolvimento de alimentos e bebidas funcionais tem aumentado com potencial para melhorar a saúde e bem-estar dos consumidores, principalmente os que produzem efeito benéfico ao intestino, que dominam o mercado de alimentos funcionais (LUCKOW e DELAHUNTY, 2004; PRADO et al., 2008; THAMER e PENNA, 2006). Estima-se que ao longo dos próximos cinco anos, as vendas de alimentos funcionais aumentem, com um crescimento de mercado global estimado em 4,5% a 6,5% ao ano. No entanto um maior crescimento vai exigir o desenvolvimento de novos produtos nos diferentes setores de mercado (RESEARCH e MARKETS, 2011). Dentre esses produtos, os prebióticos têm sido estudados como ingredientes em vários alimentos a fim de oferecer aos consumidores uma maior variedade de alimentos funcionais (RABELO, 2008).

Uma suplementação sistemática da dieta com probióticos, prebióticos e simbióticos pode manter um equilíbrio da microbiota intestinal. Em virtude desse fato, o conceito de alimentos funcionais passou a concentrar-se de maneira intensiva em produtos que podem exercer efeito benéfico sobre a composição da microbiota intestinal (SAAD, 2006).

## 2.2. Prebióticos

Um prebiótico é definido como um ingrediente alimentar não digerível que afeta benéficamente a saúde do hospedeiro por estimular seletivamente o crescimento e/ou atividade de uma ou de um número limitado de bactérias no cólon, como as bifidobactérias (MADHUKUMAR e MURALIKRISHNA, 2012; GIBSON e ROBERFROID, 1995). Os prebióticos modificam a composição da microbiota colônica de tal forma que as bactérias com potencial de promoção de saúde tornam-se a maioria predominante (CAPRILES et al., 2005).

Os prebióticos são constituídos essencialmente por carboidratos de tamanhos diferentes, desde composição mono, dissacarídeos, oligossacarídeos, até grandes polissacarídeos. São encontrados na cebola, chicória, alho, alcachofra, cereais, aspargos, raízes de almeirão, beterraba, banana, trigo e tomate, podem estar presentes no mel e açúcar mascavo, em tubérculos, como o yacon e em bulbos (RAIZEL et al., 2011).

Para que um ingrediente (ou grupo de substâncias) possa ser definido como prebiótico, deve cumprir os seguintes requisitos: ser resistente às enzimas salivares, pancreáticas e intestinais, bem como ao ácido estomacal; não deve sofrer hidrólise enzimática ou absorção no intestino delgado; quando atingir o cólon deve ser metabolizado seletivamente por número limitado de bactérias benéficas, deve ser capaz de alterar a microbiota colônica para uma microbiota bacteriana saudável e ser capaz de induzir efeito fisiológico relevante à saúde (MANOSROI et al., 2011).

Segundo a definição original um dos requisitos para que o alimento seja considerado prebiótico é ser não digerível, embora isto não seja estritamente necessário, tudo o que é necessário é que quantidades substanciais atinjam o cólon. O que diferencia os prebióticos das outras fibras dietéticas é o fato deles serem preferencialmente metabolizados pelos microorganismos mais benéficos do cólon, mantendo dessa forma o equilíbrio da microbiota intestinal (RASTALL, 2010).

O novo conceito de fibras defende a inclusão de carboidratos não digeríveis. As fibras de maior importância utilizadas como prebióticos são a inulina e os frutooligossacarídeos (FOS). Os FOS são formados a partir da hidrólise da inulina pela enzima inulase ou pela síntese enzimática da sacarose. Ambos são denominados frutanos, fibras solúveis e fermentáveis, não degradadas pela  $\alpha$ -amilase e por outras enzimas hidrolíticas, como a sacarase, a maltase e a isomaltase, na parte superior do trato intestinal (STEFÉ et al., 2008).

Os frutoligosacarídeos e a inulina têm demonstrado excelentes efeitos prebióticos, uma vez que são substâncias bifidogênicas, isto é, estimulam o crescimento intestinal das bifidobactérias que, por efeito antagonista, suprimem a atividade de bactérias putrefativas. A multiplicação de bifidobactérias leva à redução do pH em virtude da produção de ácidos orgânicos, resultando na diminuição no número de bactérias patogênicas ou nocivas, diminuindo conseqüentemente a formação de metabólitos tóxicos, como amônia, indol, fenóis e nitrosaminas (MOROTI et al., 2009).

Conforme Fooks e Gibson (2002), os oligossacarídeos estão entre as fibras que proporcionam efeito positivo na composição da microbiota intestinal quando consumidos associados a microrganismos probióticos, como *Lactobacillus spp.* e *Bifidobacteria spp.*

### **2.3. Tipos de Oligossacarídeos Prebióticos**

Os oligossacarídeos são definidos estritamente como sendo carboidratos que contêm entre 2 e 10 monossacarídeos, covalentemente ligados através de ligações glicosídicas (MEHRA e KELLY, 2006). A maioria dos oligossacarídeos prebióticos estudados atualmente são produtos comerciais obtidos por hidrólise parcial, ácida ou enzimática, de polissacarídeos ou por reações de transglicosilação. Porém, eles também podem ser obtidos diretamente de sua fonte natural (vegetais, leite, parede celular de leveduras) (SILVA e NÖRNBERG, 2003).

Exemplo de oligossacarídeo produzido comercialmente é a inulina, cujo uso em alimentos e os efeitos fisiológicos associados aos seres humanos têm sido estudados nas últimas duas décadas. A inulina é reserva de carboidrato em muitas plantas dicotiledôneas e pode ser extraída de raízes de chicória e de outros vegetais ou produzida industrialmente a partir da sacarose, apresenta um grau de polimerização de 10-12 (BORGES, 2002; MARTINS e BURKERT, 2009).

Os frutooligosacarídeos também são oligossacarídeos importantes na indústria de alimentos funcionais, sendo formado por 2 a 4 unidades de frutose ligadas a um resíduo terminal de glicose. Os xilooligosacarídeos são obtidos a partir de hidrólise parcial de polixilanos realizada pela  $\beta$ -xilanase. Os glicooligosacarídeos são obtidos por transglicosilação da glicose via  $\alpha$ -glicosidase. Os galacto-oligosacarídeos são formados pela transgalactosilação da galactose por ação da enzima  $\beta$ -galactosidase, a partir de substratos

ricos em lactose. A rafinose (também chamada de  $\alpha$ -galacto-oligossacarídeo) é obtida de extração vegetal, em especial da soja (MARTINS e BURKERT, 2009).

Os prebióticos mais utilizados como ingredientes funcionais são os frutanos tipo a inulina e, os frutooligossacarídeos (FOS) ou oligofrutose, pois não são digeríveis pela presença de ligações  $\beta$  (2-1), por esta característica não são capazes de se difundir através da mucosa intestinal e são resistentes à hidrólise enzimática. Podem atuar como substratos para a fermentação, promovendo energia para a multiplicação de bactérias comensais benéficas do cólon, porém não promovem a multiplicação de bactérias patogênicas (MOROTI et al., 2009).

Do ponto de vista fisiológico, a inulina e o FOS influenciam a função intestinal com aumento da frequência evacuatória, redução do pH e aumento do peso das fezes e redução dos valores plasmáticos de triglicerídeos e colesterol (BORGES, 2002). De acordo com estudo clínico realizado por Molis et al. (1996), 89% de FOS ingeridos atingem o cólon e 0% é excretado nas fezes. Isso porque 100% da inulina e dos FOS são fermentados no cólon. Assim, a eficiência desses prebióticos depende da população bacteriana presente no cólon que varia de indivíduo para indivíduo. De acordo com Kolida e Gibson (2007), o consumo diário de cinco a oito gramas de frutanos parece ser suficiente para se obter o efeito prebiótico, evitando-se efeitos colaterais indesejados como flatulência e desarranjos intestinais consequentes da ingestão de maior quantidade desses compostos.

#### **2.4. Benefícios do consumo de oligossacarídeos prebióticos a saúde**

Segundo Borges (2002), alguns dos efeitos exercidos por substâncias prebióticas são: alteração do trânsito intestinal, reduzindo os metabólitos tóxicos; prevenção da diarreia ou da obstipação intestinal, por alterar a microflora colônica; diminuição do risco de câncer; diminuição dos níveis de colesterol e triglicerídeos; controle da pressão arterial; incremento da produção e biodisponibilidade de minerais; redução do risco de obesidade e diabetes insulino não-dependente e redução da intolerância à lactose.

O efeito de barreira que os oligossacarídeos propiciariam junto à superfície da mucosa do intestino humano contribuindo para minimizar a invasão e colonização de microorganismos indesejáveis a esse órgão vital é citado como sua principal ação benéfica para a saúde humana (FOOKS e GIBSON, 2002).

A fermentação dos prebióticos no intestino leva à produção de ácidos graxos de cadeia curta – AGCC (acetato, propionato e butirato) que são totalmente absorvidos pelo trato intestinal. Os AGCC têm um efeito sistêmico no metabolismo da glicose e dos lipídeos causando diminuição da glicemia pós-prandial e reduzindo a concentração de triglicerídeos e colesterol sanguíneos (PIMENTEL et al., 2005), e conseqüentemente uma redução do risco de arteriosclerose (KAUR e GUPTA, 2002).

Estudos demonstram que o FOS contribui para um aumento significativo da absorção de cálcio no organismo, inclusive com melhoria da densidade mineral óssea. Este fato pode ter importantes efeitos sobre a prevenção da osteoporose (FORTES e MUNIZ, 2009).

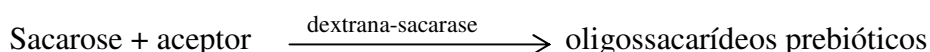
O equilíbrio produzido na microbiota gastrointestinal pelo consumo de frutooligossacarídeos estimula outros benefícios no metabolismo humano, como a redução da pressão sanguínea em pessoas hipertensas, redução da absorção de carboidratos e lipídeos, normalizando a pressão sanguínea e lipídeos séricos e melhoria do metabolismo de diabéticos. Ainda pode-se observar um aumento da digestão e metabolismo da lactose, aumento de reciclagem de compostos como o estrógeno, aumento da síntese de vitaminas (principalmente do grupo B), aumento da produção de compostos imuno estimulantes, que possuem atividade antitumoral, diminuição da produção de toxinas e compostos carcinogênicos e auxílio da restauração da flora intestinal normal durante terapia com antibióticos (PASSOS e PARK, 2003).

## **2.5. Produção e síntese de Oligossacarídeos Prebióticos**

A obtenção comercial de oligossacarídeos prebióticos pode ser por extração dos vegetais ricos nesse substrato, através da hidrólise parcial, ácida ou enzimática de polissacarídeos ou ainda por reações de transglicosilação fermentativa ou enzimática (SILVA et al., 2003).

Quando a síntese dos oligossacarídeos prebióticos é realizada via processo enzimático pode-se utilizar a enzima dextrana-sacarase que é uma transglicosidase e pode ser obtida a partir da fermentação do *Leuconostoc mesenteroides* em um meio que contenha sacarose como fonte de carbono. Esta enzima pode ser utilizada para a síntese de dextrana em um meio contendo sacarose como substrato (VERGARA et al., 2010).

Porém, quando além de sacarose, um segundo substrato também é utilizado como acceptor (maltose, frutose ou glicose), parte das unidades de glicose provenientes da quebra da sacarose promovida pela enzima é desviada da cadeia de dextrana sendo incorporadas neste segundo substrato, formando oligossacarídeos de interesse técnico. Esta reação secundária é denominada reação do acceptor. O ajuste da proporção acceptor/sacarose permite a supressão da síntese de dextrana e a maximização da produção de oligossacarídeos (RODRIGUES et al., 2006; RABELO et al., 2006). Um esquema da reação do acceptor é mostrado abaixo:



Quando maltose é utilizada como acceptor, o principal produto desta reação são os isomalto-oligossacarídeos, que podem ser aplicados na indústria de alimentos como adoçantes não cariogênicos, uma vez que estes carboidratos não são fermentáveis pela flora oral humana (MIYAKE et al., 1985), e agentes estabilizantes de bebidas (HIGASHIMURA et al., 2000).

À medida que unidades de glicose se incorporam à cadeia, são formadas as séries homólogas. Para esta reação são conhecidas séries homólogas contendo até 10 unidades de glicose, sendo duas glicoses pertencentes à maltose (ligação glicosídica  $\alpha$  -1,4) e as demais incorporadas a este carboidrato por meio da síntese enzimática. O rendimento e o grau de polimerização destes oligossacarídeos dependem da disponibilidade dos aceptores e da sacarose no reator (RABELO et al., 2009).

## 2.6. Suco de Frutas

Nos últimos anos, tem-se notado um aumento no consumo de frutas e vegetais em razão do potencial na prevenção de doenças cardiovasculares e câncer, já que estes alimentos são fontes de vitaminas antioxidantes (C e E), compostos fenólicos e carotenos. Conseqüentemente houve uma grande expansão da agroindústria de frutas e hortaliças, principalmente na indústria de sucos, a qual tem uma expressiva importância econômica no país (BRANCO et al., 2007).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com cerca de 43 milhões de toneladas/ano, ocupando uma extensão territorial de 8.512.965 km<sup>2</sup> (IBRAF, 2013). Paralelamente ao segmento de frutas frescas, a produção de sucos naturais vem se notabilizando pelo forte crescimento do consumo, inserindo-se os sucos de frutas tropicais e

os sucos cítricos onde, o Brasil se destaca no cenário internacional. A produção brasileira de sucos e polpas de frutas apresenta uma produção bastante diversificada onde o consumidor tem a oportunidade de consumir uma maior variedade de sabores (FRACARO, 2004).

É válido ressaltar que o consumo de sucos de frutas no Brasil, principalmente dos produtos prontos para beber, tem crescido significativamente devido ao aumento de renda da população, conveniência e praticidade, bem como divulgação de benefícios à saúde. Diversas entidades ligadas ao setor têm informações de que os índices anuais de crescimento ultrapassam os dois dígitos: aproximaram-se de 20% em 2010, quando as indústrias investiram fortemente em aumento de produção (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2011).

Os sucos de frutas são consumidos e apreciados em todo o mundo, não só pelo seu sabor, mas também por serem fontes naturais de carboidratos, carotenóides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes (PINHEIRO et al., 2006).

Juntamente ao consumo e à produção de alimentos funcionais, vem crescendo de maneira significativa o mercado de suco de frutas, o que está despertando o interesse em produzir sucos de frutas contendo prebióticos e probióticos (RENUKA et al., 2009).

## **2.7. Suco de Limão**

Dentre os sucos, o de limão se destaca por ser fonte de vitamina C, flavonóides, óleos essenciais, fibras alimentares, ácido cítrico e sais minerais (potássio, por exemplo), que oferecem numerosos benefícios à saúde (GONZÁLEZ-MOLINA et al., 2008).

A alegação de propriedades benéficas à saúde no suco de limão era atribuída principalmente à presença de vitamina C, mas recentemente foi demonstrado que os flavonóides são os compostos mais relevantes por apresentarem propriedades antioxidante, antimutagênica, anti-inflamatória, antialérgica, antiviral, anticarcinogênica e de reduzir lipídeos no sangue (GONZÁLEZ-MOLINA et al., 2008).

O suco de limão tem sido utilizado como antioxidante e acidulante em bebidas, sucos de frutas, geleias e alimentos orgânicos a fim de substituir o ácido cítrico (GONZÁLEZ-MOLINA et al., 2008). Nesse contexto, a indústria de alimentos tem buscado substituir os

aditivos sintéticos e vem estudando a possibilidade do uso do suco de limão como conservante, devido às suas propriedades benéficas à saúde.

## **2.8. Desidratação de Suco de Frutas**

Os sucos de frutas são alimentos que apresentam na sua composição alta porcentagem de água. A retirada da água por um método de secagem adequado seria de grande vantagem no que diz respeito à diminuição de custos com transporte, armazenamento e embalagens, facilitando sua manipulação e distribuição. Com a diminuição da atividade de água também ocorre um aumento no tempo de vida útil do produto, uma vez que são inibidas muitas reações enzimáticas e atividades microbianas (GOULA e ADAMOPOULOS, 2010).

Dessa forma, os alimentos em pó vêm ganhando seu espaço no mercado, visto que esses produtos reduzem os custos de certas operações, agregam valor à matéria-prima e preservam o máximo das características originais do produto natural quando a técnica de secagem utilizada é adequada (CHEN e PATEL, 2008; JANGAM et al., 2008; GOULA e ADAMOPOULOS, 2010). Portanto, a produção de sucos de frutas em pó possibilita a oferta de um novo produto de boa qualidade, prático e saudável, podendo ser utilizado em bebidas instantâneas em substituição aos similares artificiais existentes no mercado (CHEN e PATEL, 2008; TONON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2007).

Contudo, segundo Brennan et al. (1997), a desidratação é considerada como uma das mais difíceis entre todas as técnicas disponíveis a serem aplicadas a sucos de frutas, já que apresentam em sua composição uma grande quantidade de ácidos orgânicos e de açúcares de baixo peso molecular, os quais possuem uma faixa de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) muito baixa. Quanto menor a  $T_g$ , mais o produto estará sujeito a sofrer o fenômeno de *stickiness*, que está diretamente associado à tendência de alguns materiais à aglomeração e/ou adesão quando em contato com uma superfície durante e após a secagem (CHEN e PATEL, 2008; VERDURMEN et al., 2006). Como resultado, há uma diminuição considerável do rendimento, problemas operacionais, perdas na qualidade e dificuldades de manipulação e reconstituição do pó (GOULA e ADAMOPOULOS, 2010; ROUSTAPOUR et al., 2010).

Esses problemas podem ser evitados adicionando os chamados adjuvantes de secagem ao produto antes do mesmo ser submetido ao processo de desidratação, de modo a aumentar sua temperatura de transição vítrea (TONON et al., 2009). O uso desses aditivos evita a



aglomeração dos pós e conserva componentes voláteis constituintes do aroma, já que atuam como estabilizante das propriedades físicas do produto (CHEGINI e GHOBADIAN, 2007).

Das técnicas mais estudadas para produção de sucos desidratados, destacam-se: liofilização, desidratação em camada de espuma (processo *Foam-Mat*), encapsulação de sucos por co-cristalização com sacarose, secagem por atomização e por micro-ondas, secagem em leito fluidizado e secagem em leito de jorro com partículas inertes (SOUZA, 2009).

## **2.9. Temperatura de Transição Vítreo e o Fenômeno de *Stickness***

As dificuldades técnicas relacionadas à secagem dos sucos de frutas estão associadas à presença de grande quantidade de ácidos orgânicos (cítrico, málico e tartárico) e de açúcares de baixo peso molecular em sua composição, os quais apresentam uma faixa de temperatura de transição vítreo ( $T_g$ ) muito baixa, 62, 31 e 5 °C para sacarose, glicose e frutose, respectivamente, o que resulta em uma série de fenômenos indesejados durante a secagem, como o comportamento *sticky* (TAN et al., 2011, BHANDARI et al., 1997, JAYASUNDERA et al., 2011).

O fenômeno de *stickiness* está diretamente associado à tendência de alguns materiais à aglomeração e/ou adesão quando em contato com uma superfície, durante e após a secagem, sendo a  $T_g$  o principal indicador do comportamento *sticky* de alimentos ricos em açúcares (BHANDARI et al., 1997, CHEN e PATEL, 2008, VERDURMEN et al., 2006). Como consequência desse comportamento, há dificuldade na reconstituição e nas condições de escoamento, além de afetar o rendimento e acelerar outras reações deteriorativas que depreciam a qualidade do alimento (ENDO et al., 2007).

A temperatura de transição vítreo pode ser considerada como uma temperatura de referência: quando a temperatura de secagem estiver abaixo da  $T_g$ , é esperado que o alimento apresente uma maior estabilidade (JULIANO, 2010). A  $T_g$  é definida como sendo a temperatura na qual uma matriz amorfa passa de um estado vítreo para um estado gomoso. A matriz amorfa pode existir como um material vítreo muito viscoso ou como uma estrutura amorfa “gomosa ou borrachuda”, devido ao aumento da mobilidade e diminuição da viscosidade (JAYA e DAS, 2009; SILALAI e ROOS, 2011). Esta transição caracteriza-se por várias transformações que surgem no produto as quais resultam em transformações estruturais

dependentes do tempo, como o fenômeno de *stickness*, o colapso e a cristalização durante o processamento e estocagem do alimento (BHANDARI et al., 1997, TONON et al., 2009).

Esses problemas durante a desidratação dos sucos podem ser evitados através da adição de adjuvantes de secagem, os quais têm a função de aumentar a temperatura de transição vítrea dos mesmos, contribuindo na redução da higroscopicidade dos pós e na aglomeração das partículas, além de conservar os compostos voláteis do alimento (GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

## **2.10. Adjuvantes de Secagem**

Os adjuvantes de secagem são carboidratos de alto peso molecular, como a goma arábica e as maltodextrinas, que têm alta Tg, sendo capazes de reduzir a higroscopicidade dos pós e facilitar a secagem (BHANDARI e HARTEL, 2005). A incorporação desses agentes nos produtos, além de promover um aumento na Tg e reduzir a higroscopicidade dos pós, pode também ser considerada um método para proteger componentes sensíveis dos alimentos durante a secagem (CHEGINI e GHOBADIAN, 2007).

A goma arábica é um exudado gomoso dessecado dos troncos e dos ramos da *Acacia senegal* ou de outras espécies africanas de *Acacia*, a qual possui muitas espécies distribuídas nas regiões de clima tropical e subtropical. As mais importantes áreas de crescimento das espécies que produzem as melhores gomas são o Sudão e a Nigéria. Ela dissolve-se facilmente quando agitada em água, é a única entre as gomas alimentícias que apresenta alta solubilidade e baixa viscosidade em solução, facilitando desta maneira o processo de atomização (MARTINELLI, 2008).

Alguns estudos indicam que a goma arábica tem valores de Tg maiores que as de maltodextrinas (RIGHETTO & NETTO, 2000; COLLARES et al., 2004), o que sugere que a goma arábica é provavelmente mais efetiva que as maltodextrinas para reduzir a higroscopicidade dos pós. Porém, o custo e a oferta limitada em decorrência de a goma arábica ser produzida em áreas sujeitas a imprevisíveis variações climáticas e turbulência política, podem interromper a oferta do produto e têm restringido seu uso (McNAMEE et al., 1998).

No entanto, a maltodextrina é um dos materiais mais utilizados como encapsulante na secagem devido ao seu baixo custo e baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração das partículas. Esse material também possui efeito antioxidante e uma ótima retenção de substâncias voláteis, na ordem de 65 a 80% (ANSELMO et al., 2006).

Maltodextrina é o nome comum para oligossacarídeos e polissacarídeos de glucose, formados durante a decomposição parcial do amido. Dextrinas ou maltodextrinas são produzidas pelo aquecimento do amido (gelatinização) seguido da hidrólise enzimática. Maltodextrinas são classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido (SOARES, 2009). O grau de decomposição química fica entre aquele do amido e do xarope de amido, com um DE entre 2 e 20. Usualmente, estes compostos são produzidos na forma de pó. O conteúdo de umidade varia de 3,0 a 5,0%. Estes produtos na forma seca são brancos, têm boa estabilidade (*free-flowing*), com sabor muito suave, e com pouca ou nenhuma doçura (MARTINELLI, 2008).

Em produtos ricos em açúcares como os sucos de frutas, o uso de agentes de secagem como maltodextrina e goma arábica é uma alternativa para melhorar as características físicas do pó, inclusive o rendimento, tendo em vista que estes agentes têm a capacidade de aumentar a temperatura de transição vítrea desses componentes (BHANDARI et al., 1997) reduzindo problemas de aglomeração e adesão às paredes do equipamento (CHEGINI; GHOBADIAN, 2007), viabilizando, assim a secagem de produtos ricos em açúcares.

### **2.11. Secagem em Leito de Jorro**

A tecnologia de leito de jorro foi desenvolvida inicialmente por GISHLER e MATHUR, em 1954, como um método para secagem de trigo. O regime de jorro é estabelecido em um leito de partículas sólidas através da injeção de um fluido (geralmente ar) na sua parte inferior verticalmente através de um único ponto cujo diâmetro é reduzido em relação ao diâmetro do leito (FRAILE et al., 2005).

Vale ressaltar que a utilização do secador tipo leito de jorro tem sido difundida devido as suas características tais como: alta taxa de circulação de partículas inertes, bons coeficientes de transferência de calor e massa e a uniformidade da temperatura no leito, o que

propicia principalmente a utilização desta técnica na secagem de pasta e suspensões de materiais termossensíveis de acordo Lima et al. (2008). Segundo Jacob-Lopes et al. (2006) a técnica do leito de jorro possui relevante aplicação em operações envolvendo contato entre partículas sólidas e fluidos.

O processo de secagem consiste em inserir o material a ser desidratado dentro do leito de jorro para provocar o recobrimento das partículas inertes sob a forma de um filme. As partículas recobertas e úmidas, então, são secas diretamente pela corrente de ar quente ou indiretamente pelo contato com as partículas inertes aquecidas até que o conteúdo de umidade atinja um valor crítico. Nesta etapa, o material seca na superfície da partícula inerte, tornando-se frágil e quebradiço (Figura 1), o que ocasiona a ruptura e liberação do filme de recobrimento seco através do atrito provocado no leito pelas colisões partícula-partícula e partícula-parede. O produto formado neste processo geralmente é composto por um pó fino com diâmetro médio inferior a  $1,0 \times 10^{-4}$  m (STRUMILLO et al., 1983). O material na forma de pó é, então, arrastado para fora do secador pela corrente de ar, enquanto um ciclone conectado ao secador promove a separação e recolhimento do pó; entretanto, muitas vezes as taxas de remoção da película são muito baixas, promovendo acúmulo do material no leito, sendo este um dos graves problemas desse secador, chegando até mesmo a inviabilizar sua utilização na secagem de diversos materiais (MEDEIROS et al., 2001).

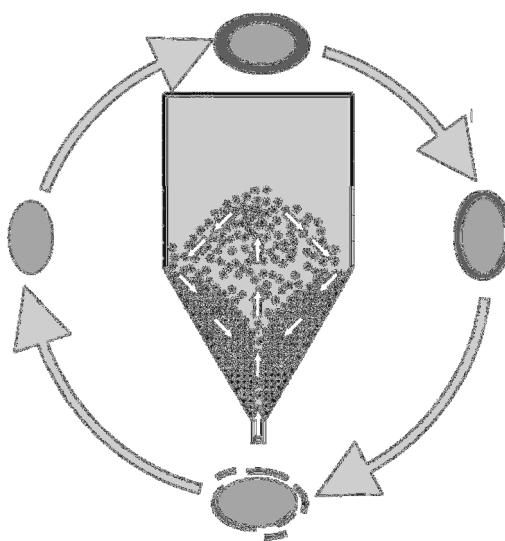


Figura 1. Ciclo de recobrimento, secagem, quebra e arraste da película de suspensão na secagem em leito de jorro com inertes (TRINDADE, 2004).

De forma geral, o funcionamento do leito de jorro é mostrado na Figura 2. O ar de secagem é fornecido ao sistema por um compressor (1) e aquecido por um conjunto de resistências (3); A vazão do ar na entrada é medida por um rotâmetro (2) e controlada por uma válvula (4); A pressão dentro do leito é medida através de um manômetro (15); O material a ser seco (8) é transportado por uma bomba peristáltica (9) até o bico atomizador de duplo fluido (7) e uma linha de ar comprimido (10) fornece ar ao bico atomizador, sendo a pressão do ar medida por outro manômetro (12) e a vazão controlada por uma válvula (11) (MELO et al., 2010).

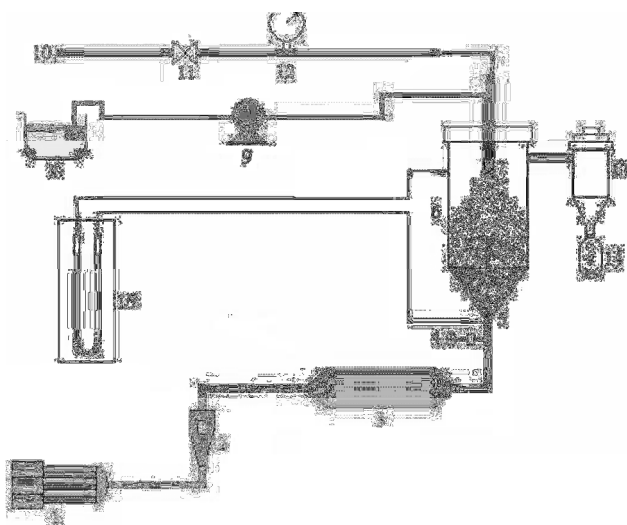


Figura 2. Esquema de funcionamento do leito de jorro (MELO et al., 2010)

O leito de jorro convencional é constituído por uma câmara de secagem cilíndrica conectada a uma base cônica, a qual possui em sua extremidade inferior um orifício de reduzida dimensão, através do qual o fluido de jorro é alimentado ao sistema (PALLAI et al., 1995).

A base cônica do equipamento ajuda a aumentar o movimento de sólidos e eliminar espaços mortos no fundo do leito, enquanto o ar em alta velocidade é adicionado a este conjunto pela base inferior do tronco de cone, permeando entre as partículas. Assim, a intensa circulação destas partículas começa quando a vazão do ar é suficiente para promover o transporte pneumático das mesmas na região central do leito, e ao atingirem a região da fonte, as partículas perdem totalmente sua energia cinética, caindo posteriormente na região anular fazendo um movimento descendente até regiões inferiores do leito (SANTOS et al., 2010).

A Figura 3 apresenta as regiões características do leito de jorro: Na região central (ou de jorro), as partículas são arrastadas pela corrente de ar que passa em alta velocidade ascendente; na região anular, em torno da região central, o ar passa em baixa velocidade – cerca de somente 30% do total de ar passa por esta região – e as partículas tem movimento descendente sob o efeito da gravidade até que reentram na região de jorro; na região da fonte, as partículas que foram jorradas caem de volta à região anular. Dessa forma, passagem das partículas das regiões do jorro, anular e da fonte produz a movimentação cíclica destas no leito (LABMAQ, 2003).

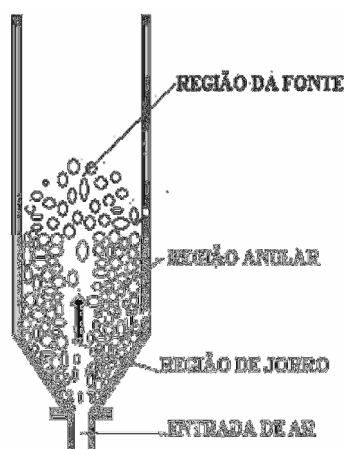


Figura 3: O leito de jorro com suas regiões características (SANTOS et al., 2010)

Ainda existem muitos desafios para que a secagem de suco de frutas em leito de jorro possa ser empregada industrialmente, devido à composição química do suco (ácidos orgânicos, açúcares), vários problemas podem ocorrer durante a secagem como a instabilidade no leito, acúmulo, revestimento das partículas inertes, aglomeração e colapso do sistema (MEDEIROS et al., 2002; BENALI e AMAZOUZ, 2002; BHANDARI e HOWES, 2005).

Segundo MEDEIROS (2001), as características da matéria-prima influenciam fortemente a qualidade do produto final. Quando o teor de gordura é alto, a secagem é facilitada, melhorando o rendimento. Porém, quando o produto apresenta alta concentração de açúcares, a liberação do pó da partícula não ocorre devido à adesão do produto nas partículas inertes utilizadas na fluidização. A alta higroscopicidade dos açúcares presente nas frutas, ainda segundo a autora, seria o principal fator que determina a tendência das partículas inertes aderirem-se umas as outras.

Esses problemas durante a secagem ocorrem porque os açúcares de baixo peso molecular (PM), presentes nos frutos, possuem baixa temperatura de transição vítrea (Tg). Devido ao baixo PM, a mobilidade molecular desses açúcares é alta quando a temperatura está logo acima da Tg, o que faz com que sejam muito higroscópicos e percam a livre fluidez. Nas temperaturas utilizadas durante a secagem, esses compostos tendem a apresentar problemas de adesão às paredes da câmara de secagem e de coesão (adesão das partículas entre si), podendo produzir um produto pastoso em vez de um pó. Entretanto, esses inconvenientes podem ser evitados ou minimizados quando se adicionam os chamados agentes de secagem, que, por apresentarem uma Tg mais elevada reduzem a higroscopicidade dos pós e facilitam a secagem (GOULA e ADAMAPOULUS, 2010; TAN et al., 2011; JAYASUNDERA et al., 2011).

Com relação ao produto final desidratado, Ramos et al. (1998) relatam perdas de vitamina C, acidez e açúcares. Assim como os pós produzidos por Gomes et al. (2004) também apresentam diminuição do teor de ácido ascórbico e elevação da umidade após determinados períodos de armazenamento.

Apesar desses inconvenientes, o secador de leito de jorro é um equipamento de eficiência térmica elevada, tem baixo custo operacional e sua aplicação na secagem de alimentos tem viabilizado a obtenção de produtos com características satisfatórias para o consumo direto, ou como matéria-prima para alimentos desidratados (GOMES et al., 2002).

A secagem de pastas e suspensões utilizando-se secadores de leito de jorro com partículas inertes tem sido bastante estudada nos últimos anos e essa técnica vem sendo utilizada para a secagem de diversos tipos de materiais, como: levedura (ROCHA et al., 2008), polpa de frutas tropicais (MEDEIROS, 2001), feijão preto (DIAS, et al., 2000), extrato de plantas medicinais (SOUZA, 2007), leite de cabra (CHAVES et al., 2009), dentre outros.

Portanto, a secagem de suco de limão prebiótico por leito de jorro, pode proporcionar o desenvolvimento de um novo produto que agrega benefícios à saúde devido as suas propriedades funcionais e praticidade.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Preparo do suco de limão**

Foi utilizado o suco de limão concentrado da marca LIMONJAL®, obtido no comércio local de Fortaleza - CE e diluído na proporção 1:9, conforme a recomendação do fabricante.

### **3.2. Caracterização físico-química do suco de limão, do suco de limão prebiótico e do suco de limão prebiótico reconstituído**

Os sucos foram caracterizados físico-quimicamente quanto ao pH inicial por potenciometria direta, conforme AOAC (1995); Teor de sacarose, açúcares redutores (glicose e frutose) e ácido ascórbico através de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC); Sólidos solúveis totais por refratometria (°Brix), acidez total titulável e umidade conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008); Atividade de água determinada através do equipamento AQUALab 4TEV; Cor usando um colorímetro digital (Minolta CR300, Tokyo) e Flavonóides segundo metodologia de Francis (1982). Os métodos analíticos são descritos nos subitens abaixo.

#### **3.2.1. Determinação do pH**

O pH foi determinado através de leitura direta, em potenciômetro de marca Marconi®, modelo PA200, calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0 conforme a AOAC (1995).

#### **3.2.2. Determinação do teor de sacarose e açúcares redutores através de cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)**

O analito foi quantificado usando o método de padrão externo. As curvas de calibração foram diluídas partindo de uma solução estoque de 6 g/L de glicose, frutose e sacarose diluídas em água MilliQ. A calibração foi através de uma curva de regressão linear usando o software StarChrom WS 5.51 (Varian).



As amostras foram diluídas com água deionizada para que as concentrações dos analitos de interesse estivessem dentro da faixa de linearidade da curva de calibração, em seguida, foram filtradas em membrana de éster de celulose de 0,45 µm (FMS, CA-USA) e injetadas no sistema de cromatografia. As injeções foram em duplicata e o analito confirmado pelo tempo de retenção do padrão.

Foi utilizado um cromatógrafo líquido da marca Varian Pro Star HPLC que é constituído por duas bombas de alta pressão modelo Pro-Star 210, um detector de índice de refração (IR) Pro Star 355 Varian, um injetor automático Auto Sampler modelo 410 gerenciado pelo software Star Chromatography WS versão 6.0 e um forno Timberline modelo 101 para termostatização da coluna. O volume de amostra foi de 20 µL.

A separação cromatográfica dos açúcares foi realizada a 85 °C com uma coluna Aminex® HPX-87P Biorad (300 mm x 7,8 mm). A fase móvel era constituída de água Milli-Q com fluxo de 0,6 mL/min. A temperatura do detector foi de 45 °C.

### **3.2.3 Ácido Ascórbico**

O ácido ascórbico foi quantificado utilizando o método do padrão externo. A curva de calibração foi construída diluindo solução estoque contendo 900 mg/L de ácido ascórbico, diluído em água MilliQ. A curva de calibração foi obtida por regressão linear utilizando o software Agilent OpenLAB Chromatography Data System (CDS).

As amostras foram previamente filtradas em membranas de nylon de 0,45 µm (FMS, CA-EUA) e injetadas no sistema cromatográfico. As injeções foram feitas em duplicata e a identidade do ácido ascórbico foi confirmada pelo mesmo tempo de retenção do padrão. Foi utilizado o sistema de HPLC Agilent Série 1260 Infinity (Wilmington, Delaware, EUA).

O sistema de cromatografia consistiu de uma bomba quaternária (modelo G1311B), um amostrador automático (modelo G1329B), um compartimento de colunas termostatizado (modelo G1316A) e um detector de diodo de array (modelo G4212B). As separações foram realizadas em uma coluna Aminex HPX-87H® (300 mm x 7,8 mm).

O solvente de eluição utilizado foi ácido sulfúrico 0,01 N. Taxa de fluxo foi de 0,60 mL/min e tempo de execução de 20 minutos. A corrida foi realizada a 50°C. O volume de injeção da amostra foi de 20µL.

#### **3.2.4. Sólidos Solúveis Totais**

Obtidos através da leitura direta em um refratômetro digital portátil da marca REICHERT, modelo R2 mini, a temperatura de 20°C, sendo os resultados expressos em °Brix, conforme recomendações feitas pela (AOAC, 1995).

#### **3.2.5. Acidez Titulável**

Determinada através de titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1 N utilizando fenolftaleína 1,0 % como indicador de ponto de viragem. Os resultados foram expressos em g ácido cítrico/100 mL, segundo normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### **3.2.6. Umidade**

O teor de umidade foi determinado por método gravimétrico. Cerca de 2 g de amostra foram pesadas em cápsulas de alumínio e levadas à estufa a vácuo (Quimis®, Q819V2), a 70 °C até massas constantes (com menos de 0,3% de variação), medidas a cada duas horas de intervalo, os resultados foram expressos em porcentagem de umidade, segundo as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### **3.2.7. Atividade de água (Aw)**

A atividade de água foi determinada a 25 °C por medida direta no produto em equipamento digital marca AQUALAB®, modelo 3TE, conforme indicações do fabricante.

### 3.2.8. Análise da cor

A cor foi determinada a 25°C usando um colorímetro digital (Minolta CR300, Tokyo), operando no sistema CIE (CIE- *Commisione Internationale em Illuminationne*) L\*a\*b. Sendo L\* a luminosidade, variando de 0 (preto) para 100 (branco); a\* a intensidade da cor vermelha, que varia de verde (-60) a vermelho (+60); e b\* a intensidade da cor amarela, que varia de azul (-60) a amarelo (+60). A calibração foi realizada com placa branca padrão utilizando-se o iluminante D65, seguindo as instruções do fabricante.

### 3.2.9. Flavonóides Amarelos

Foi pesado 1,0 g de suco em um béquer e adicionado 30,0 mL da solução extratora de etanol e HCl 1,5N (na proporção de 85:15, respectivamente). Em seguida, foi realizada uma homogeneização com posterior armazenamento sob refrigeração durante 16 horas. Para determinação dos flavonóides a leitura da absorbância no espectrofotômetro foi realizada utilizando o comprimento de onda 374 nm e os resultados foram expressos em mg/100g de suco, segundo metodologia de Francis (1982).

## 3.3. Produção da enzima

A enzima dextrana-sacarase foi obtida por processo fermentativo com o micro-organismo *Leuconostoc mesenteroides* B-512F, utilizando-se sacarose (indutor da produção da enzima) como fonte de carbono conforme descrito por Guimarães *et al.* (1999). A produção da enzima foi realizada em fermentador TECNAL, modelo TECBIO com capacidade para 1,5L a temperatura de 30°C sob agitação de 150 rpm por processo batelada alimentada (BAZÁN,1993). A alimentação do fermentador era constituída de uma solução concentrada de NaOH (120 g/L) contendo sacarose (300 g/L) para manter o pH do meio na faixa ótima de crescimento do microrganismo (pH 6,5) e aumentar o rendimento. A alimentação foi interrompida em aproximadamente 6 horas de fermentação, mas o processo foi mantido por mais 2 horas para reduzir o pH a 5,2 e consumir a sacarose residual. Ao final, foi realizada a purificação parcial da enzima através de sua precipitação com a adição de polietileno glicol (PEG 1500), segundo Rodrigues (2003). A enzima obtida foi estocada congelada em freezer (-20° C).

### **3.4. Síntese enzimática dos oligossacarídeos prebióticos no suco de limão**

Para a síntese dos oligossacarídeos as concentrações de sacarose e açúcar redutor do suco de limão foram determinadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC). Em seguida essas concentrações foram ajustadas a fim de contemplar o planejamento experimental compósito central  $2^2$ , com três pontos centrais (RODRIGUES e IEMMA, 2005) e 11 ensaios (Tabela 1) tendo como variáveis independentes as concentrações de sacarose e açúcares redutores (glicose e frutose em quantidades equimolares), conforme Silva et al. (2011). Foram obtidos como resposta os açúcares totais consumidos, a dextrana, os oligossacarídeos prebióticos, os rendimentos em dextrana e oligossacarídeos.

Além da concentração de açúcares o pH dos sucos também foi ajustado para 5,2 com NaOH 1M (pH ótimo de atividade da enzima). Após os ajustes da composição do suco adicionou-se 0,5 UI/mL da enzima dextrana-sacarase a cada um dos 11 ensaios. Os ensaios foram conduzidos por um período de 24h a 30° C, conforme Silva et al.(2011). Após a síntese, a dextrana formada (produto secundário) foi removida por precipitação com etanol 96% na proporção 1:3, re-suspensa em água destilada e quantificada segundo o método para determinação de açúcares totais (DUBOIS, et al., 1956). O sobrenadante foi removido para identificação dos oligossacarídeos formados por Cromatografia em Camada Delgada (CCD) e quantificação dos açúcares residuais por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC). A partir dos resultados de açúcares residuais, foi realizado um balanço de massa para quantificação dos oligossacarídeos formados.

Tabela 1. Planejamento experimental compósito central  $2^2$  para síntese de oligossacarídeos prébióticos no suco de limão.

Ensaio	Sacarose (g/L)	Açúcar redutor (g/L)
1	25,00	25,00
2	25,00	75,00
3	75,00	25,00
4	75,00	75,00
5	14,64	50,00
6	85,35	50,00
7	50,00	14,64
8	50,00	85,35
9	50,00	50,00
10	50,00	50,00
11	50,00	50,00

Os resultados de açúcares redutores e de dextrana, no final do ensaio, foram determinados experimentalmente. Os açúcares totais, açúcares totais consumidos, açúcares redutores totais, açúcares redutores totais consumidos, oligossacarídeos prebióticos e os rendimentos em dextrana e em oligossacarídeos foram calculados através de balanço de massa conforme as equações 1 a 7:

$$AR_T \text{ (g/L)} = AR_{SUCO} + AR_{CF} \quad (1)$$

$$A_T \text{ (g/L)} = AR_T + Sac \quad (2)$$

$$AR_{CONS} \text{ (g/L)} = AR_T - AR_F \quad (3)$$

$$AT_{CONS} \text{ (g/L)} = Sac + AR_{CONS} \quad (4)$$

$$OLIGO \text{ (g/L)} = AT_{CONS} - DXT \quad (5)$$

$$Y_{OLIGO}(\%) = \frac{\text{Oligo(g/L)}}{\text{Açúcar total consumido (g/L)}} \times 100 \quad (6)$$

$$Y_{DXT} (\%) = \frac{\text{Dextrana (g/L)}}{\text{Açúcar total consumido (g/L)}} \times 100 \quad (7)$$

Onde,

AR<sub>T</sub>: açúcares redutores totais no início do ensaio

AR<sub>SUCO</sub>: açúcares redutores do suco de limão

AR<sub>CF</sub>: açúcares redutores residuais do caldo fermentado

A<sub>T</sub>: açúcares totais

AR<sub>F</sub>: açúcares redutores no final do ensaio

AT<sub>CONS</sub>: açúcares totais consumidos no ensaio

Sac: sacarose

AR<sub>CONS</sub>: açúcares redutores consumidos no ensaio

OLIGO: oligossacarídeos

DXT: dextrana

Y<sub>OLIGO</sub>: rendimento em oligossacarídeos

Y<sub>DXT</sub>: rendimento em dextrana

A partir dos resultados obtidos com o planejamento experimental, foi escolhido o ponto de maior produção de oligossacarídeos, dessa forma, o suco foi processado em quantidade suficiente para secagem e para a realização das análises físico-químicas.

### **3.5. Identificação dos oligossacarídeos formados por Cromatografia em Camada Delgada (CCD)**

Os oligossacarídeos prebióticos formados foram detectados através de cromatografia em camada delgada (CCD), em placas de sílica gel da marca Whatman do tipo K6 (sílica gel 60 A), utilizando-se o sistema acetonitrila/acetato de etila/1-propanol/água (85:20:50:90 v/v) conforme Rodrigues (2003). Foram inseridas nas placas, à temperatura ambiente, alíquotas de 10 µL das amostras (11 ensaios) e de solução padrão constituída pela mistura de glicose, frutose e sacarose, na concentração de (1,0 g/L).

As placas foram colocadas na câmara de desenvolvimento saturada com a fase móvel. Ao término de cada ascensão a placa foi seca com secador de cabelos para remoção completa da fase móvel.

Como sistema de detecção, foi utilizada uma solução constituída de 0,3 % (p/v) de 1-naftiletilenodiamina e 5 % (v/v) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado em metanol. Ao término das ascensões, as placas foram secas e mergulhadas no reagente de detecção. Após secagem natural em capela, à temperatura ambiente, as placas foram colocadas em estufa a 120 °C por 10 minutos para revelação das manchas.

### **3.6. Determinação da dextrana**

Após a síntese enzimática a dextrana foi removida por precipitação com etanol, suspensa em água destilada e quantificada segundo o método fenol ácido sulfúrico para determinação de carboidratos totais (DUBOIS *et al.*, 1956).

### **3.7. Secagem do suco de limão prebiótico**

O suco de limão contendo os oligossacarídeos prebióticos e a maltodextrina foi desidratado em secador de leito de jorro (Figura. 4) modelo LM FBD 3.0 (Labmaq do Brasil), com câmara de secagem de aço inox utilizando um bico aspersor. A operação iniciou-se com a introdução no equipamento de uma determinada carga de material inerte. O jorro se forma devido à injeção de ar na base do leito. Estabelecido o jorro iniciou-se o aquecimento do ar até a temperatura desejada. Atingida essa temperatura, deu-se início à alimentação contínua do suco.

Para a obtenção do pó alguns parâmetros de secagem foram fixados: vazão de ar no soprador (1,70 L/m<sup>3</sup>); vazão de ar de atomização para o bico (20 L/m<sup>3</sup>); pressão de ar no bico (80 bar); vazão da bomba de alimentação do suco (4,5 mL/min); carga de partículas inertes (400 g); volume de suco alimentado (200 mL). Variou-se apenas a temperatura de entrada do ar de secagem e a quantidade de maltodextrina utilizada como agente de secagem.

As temperaturas de entrada do ar de secagem utilizadas foram 60 e 70°C. A escolha desses valores foi baseada nos estudos realizados por Medeiros (2001) e Lima *et al.*, (1995) ao

secar polpa de frutas em leito de jorro. Segundo esses autores as partículas inertes e a polpa de fruta aglomeram-se no leito e aderem-se às paredes do equipamento quando a temperatura do ar de entrada no secador é inferior a 60°C. Por outro lado, em temperaturas superiores a 80°C, ocorrem perdas na qualidade do produto devido à degradação de constituintes como a vitamina C e outros compostos importantes.

A maltodextrina utilizada como agente de secagem foi da marca MALTOGILL®, com dextrose equivalente (DE) igual a 20, nas concentrações de 10, 15 e 20% - (p/p).

As secagens foram realizadas nas temperaturas de 60°C com 10, 15 e 20% de maltodextrina e de 70°C com 10 e 15% de maltodextrina, os pós obtidos foram acondicionado em embalagem plástica laminada selada a vácuo e posteriormente foram caracterizados. Após a caracterização determinou-se que as melhores condições foram: temperatura de secagem de 70°C com 15%(p/p) de maltodextrina, permanecendo fixos os outros parâmetros de secagem.



Figura 4. Leito de jorro



### 3.8. Caracterização do pó do suco de limão prebiótico

O pó obtido foi caracterizado quanto ao teor de umidade, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008) e a atividade de água foi determinada através do equipamento AQUALab 4TEV (metodologias descritas nos subitens 3.2.6 e 3.2.7, respectivamente). A higroscopicidade, e o tempo de reconstituição foram determinados conforme Goula e Adamopoulos (2010); Grau de *caking* conforme Jaya e Das (2004). O rendimento do pó obtido foi calculado em função do teor de sólidos solúveis no suco antes da secagem (ALVES, 2012). Esses métodos analíticos encontram-se descritos nos subitens abaixo.

#### 3.8.1. Determinação da higroscopicidade do pó

Foi obtida segundo metodologia descrita por Goula e Adamopoulos (2010), com modificações. Cerca de 1g do pó foi espalhando uniformemente em placas de petri de 9 cm de diâmetro, em seguida as amostras foram colocadas em dessecador com 70% de umidade relativa, a 23°C durante 90 minutos e pesadas a cada 10 minutos. Para promover a umidade relativa próxima a 70% no interior do dessecador, utilizou-se uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl). Após 90 minutos as amostras foram pesadas novamente para se verificar o ganho de massa. A higroscopicidade foi calculada segundo a equação (8):

$$\% \text{ Higroscopicidade} = \frac{(\% \text{ WI} + \% \text{ FW}) \times 100}{100 + \% \text{ FW}} \quad (8)$$

Onde,

%FW: % de umidade (valor obtido na análise de grau de *caking*)

%WI: Equação 9

a = peso da placa (g)

b = peso da placa + pó (g)

c = peso da placa + pó em equilíbrio (g)

$$\%WI = \frac{c - b}{b - a} \quad (9)$$

### 3.8.2. Análise do tempo de reconstituição do pó

Para a análise do tempo de reconstituição do suco de limão prebiótico em pó, foram pesadas 2 g do produto em um Becker de vidro de 100 mL e adicionados 50 mL de água destilada. A mistura foi agitada sob rotação de 800 rpm em um agitador magnético (Marconi® MA) usando uma barra magnética de 4x14 mm. O tempo necessário para a completa reidratação foi registrado, segundo metodologia adaptada descrita por Goula e Adamopoulos (2010).

### 3.8.3. Determinação do grau de “caking”

Após a determinação da higroscopicidade, as amostras úmidas foram colocadas em estufa a vácuo (Quimis® Q819V2), a 70 °C e pesadas em intervalos de 2 horas até massas constantes (variação menor que 0,3%). Em seguida a amostra foi transferida para uma peneira de 500µM e mantida sob agitação manual durante 5 minutos. A massa do pó que ficou retido na peneira foi pesada e o grau de *caking* foi determinado pela equação (10), conforme Jaya e Das (2004).

$$CD = \frac{100.a}{b} \quad (10)$$

Onde,

CD: Grau de *caking* (%)

a: Quantidade de pó na peneira

b: Quantidade de pó utilizada

### 3.8.4. Cálculo do rendimento

O rendimento do pó foi calculado em função do teor de sólidos solúveis (°Brix) no suco antes da secagem, conforme a equação 11 (ALMEIDA, 2012):

$$\text{Rendimento (\%)} = \text{Massa do pó} \times 100 \times \left( \frac{100}{\text{Massa do suco} \times \text{°Brix suco}} \right) \quad (11)$$

### 3.9. Reconstituição do pó do suco de limão prebiótico

O suco em pó foi reconstituído com água destilada até atingir o teor de sólidos solúveis (°Brix) do suco adicionado de maltodextrina antes da secagem.

### 3.10. Análises Estatísticas

A obtenção dos oligossacarídeos prebióticos foi estudada através de um planejamento experimental compósito central  $2^2$ , com três pontos centrais e 11 ensaios variando as concentrações de sacarose e açúcares redutores (glicose e frutose em quantidades equimolares), segundo Rabelo (2008).

Para o delineamento experimental a análise estatística foi realizada com o auxílio do programa Statistica (Statsoft), versão 7.0, através da metodologia de superfície de resposta (RSM) e os gráficos também foram elaborados pelo mesmo programa.

Os resultados das características físico-químicas dos sucos e das características do pó do suco de limão prebiótico foram submetidos à análise estatística e tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), também utilizando o programa estatístico Statistica (Statsoft) versão 7.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização físico-química do suco de limão

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos na caracterização físico-química do suco de limão.

Tabela 2. Caracterização físico-química do suco de limão

<b>Características</b>	<b>Valores médios</b>
pH	2,70 ± 0,00
Sacarose (g/L)	18,77±0,04
Açúcar Redutor (g/L)	22,68±0,01
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	5,16 ± 0,02
Sólidos solúveis totais (°Brix a 28°C)	8,67 ± 0,04
Vitamina C (mg/100g)	27,58± 0,00
Flavonóides amarelos (mg/100g)	2,03± 0,02
Umidade (% base úmida)	90,97 ± 0,15
Atividade de água (a 25 °C)	0,9987 ± 0,00
L*	80,65± 0,24
a*	-1,45±0,00
b*	4,98±0,01

Com relação ao pH do suco de limão o valor encontrado foi de  $2,70 \pm 0,00$ ; valor semelhante aos encontrados por Pedrão et al. (1999). Já para González-Molina et al. (2009), o pH do suco de limão foi  $2,45 \pm 0,06$ . Esse baixo pH indica que o suco de limão é um produto de alta estabilidade microbiológica e que pode ser utilizado como conservante na indústria de alimentos (PRATI et al., 2005). Como o pH ótimo de atividade da enzima dextrana-sacarase é 5,2, foi necessário o ajuste do pH do suco de limão para a síntese dos oligossacarídeos prebióticos.

As concentrações de sacarose e de açúcar redutor no suco de limão foram  $18,77 \pm 0,04$  e  $22,68 \pm 0,01$  g/L respectivamente. A presença desses açúcares torna viável a síntese dos

prebióticos no suco de limão, uma vez que a dextrana-sacarase utiliza a sacarose para produzir dextrana e parte da glicose que seria utilizada para a produção da dextrana é incorporada aos açúcares redutores formando os oligossacarídeos prebióticos (RABELO, 2008).

Acidez total titulável, expressa em ácido cítrico, no suco de limão foi  $5,16 \pm 0,02$  %, valores semelhantes aos encontrados por Pedrão et al. (1999), e por González-Molina et al. (2009), que foram 5,29 e 5,40% respectivamente. Por serem valores próximos aos encontrados por esses autores, demonstra-se confiabilidade nos resultados.

O conteúdo de sólidos solúveis totais foi  $8,67 \pm 0,04$  °Brix, valor próximo aos encontrados por Pedrão et al. (1999) que variaram de 8,5 a 9,1 no decorrer do armazenamento do suco de limão sob congelamento. Já para González-Molina et al. (2009) e González-Molina et al. (2008) o valor encontrado foi um pouco inferior ( $8,22^\circ$ Brix).

Os teores de vitamina C e de flavonóides obtidos nesse estudo foram inferiores aos encontrados por González-Molina et al. (2009). Esse fato pode ser explicado devido ao suco utilizado nesse experimento ser um produto concentrado, que já passou por um processamento, por tanto, esses compostos podem ter sofrido degradação. Uma vez que a vitamina C e os flavonóides são bastante instáveis, podendo ser degradados durante o processamento e a estocagem dos sucos (MAIA et al., 2007).

Quanto aos teores de umidade e atividade de água ( $A_w$ ), pode-se observar que os valores encontrados foram muito altos,  $90,97 \pm 0,15$  % e  $0,9987 \pm 0,00$  respectivamente. Essa característica é comum aos sucos e produtos de frutas, Oliveira (2012), encontrou valores de umidade de 89,76% e 0,99 de  $A_w$  para polpa de cajá. O teor de umidade expressa a quantidade total de água presente na amostra, enquanto a  $A_w$  indica a intensidade das forças que unem a água a componentes não aquosos, demonstrando, portanto, a quantidade de água disponível para o crescimento microbiano e o desenvolvimento de reações químicas e bioquímicas. Geralmente, alimentos com  $A_w$  menor que 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis (ORDÓÑEZ, 2005; QUEK et al., 2007).

Em relação a cor do suco de limão foram avaliados os parâmetros  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (intensidade da cor vermelha) e  $b^*$  (intensidade da cor amarela), os valores obtidos foram:  $80,65 \pm 0,24$ ;  $-1,45 \pm 0,00$ ;  $4,98 \pm 0,01$ , respectivamente. González-Molina et al. (2009), encontraram luminosidade semelhante ao desse estudo após os 56 dias de armazenamento do suco de limão ( $L^*$  81,4). Já em relação aos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  os valores encontrados por

González-Molina et al. (2009) foram 0,67 e 11,88 respectivamente, após 56 dias de armazenamento, esses resultados podem indicar que a coloração do suco de limão utilizado nesse estudo encontra-se melhor preservada do que a do suco estudado por González-Molina et al. (2009), uma vez que a bebida analisada por esses autores apresentou coloração menos verde e mais amarelada, o que pode indicar a ocorrência de reações de escurecimento no produto.

#### **4.2. Síntese enzimática de oligossacarídeos prebióticos no suco de limão**

A síntese enzimática dos oligossacarídeos prebióticos foi realizada com a enzima dextrana-sacarase obtida através da fermentação do *Leuconostoc mesenteroides* B-512F durante o período de 24h a 30° C. A Tabela 3 apresenta as condições experimentais do ensaio e os resultados com relação aos oligossacarídeos prebióticos, a dextrana, e os rendimentos em oligossacarídeos e dextrana. Na Tabela 4 são apresentadas as condições experimentais do ensaio e os resultados com relação aos açúcares totais consumidos. Os resultados apresentados consideram os valores de sacarose (18,77 g/L) e de açúcar redutor (22,68 g/L) presentes no suco de limão.

Tabela 3. Planejamento experimental e resultados obtidos de oligossacarídeos prebióticos, dextrana e rendimentos em oligossacarídeos e dextrana.

Ensaio	Sac (g/L)	AR (g/L)	OLIG (g/L)	DXT (g/L)	Y <sub>OLIG</sub> (%)	Y <sub>DXT</sub> (%)
1	25	25	15,25	1,47 ± 1,47	30,50	2,94
2	25	75	39,88	0,15 ± 0,02	39,88	0,15
3	75	25	58,33	0,15 ± 0,01	58,33	0,15
4	75	75	94,81	0,10 ± 0,02	63,21	0,06
5	14,6	50	22,75	0,11 ± 0,02	35,22	0,17
6	85,3	50	77,75	1,52 ± 0,00	57,46	1,12
7	50	14,6	36,17	0,06 ± 0,05	55,99	0,10
8	50	85,3	67,01	0,19 ± 0,01	49,53	0,14
9	50	50	44,64	0,21 ± 0,03	44,64	0,21
10	50	50	50,60	0,14 ± 0,01	50,60	0,14
11	50	50	50,15	0,14 ± 0,01	50,15	0,14

Tabela 4. Planejamento experimental e resultados obtidos de açúcares totais consumidos

Ensaio	Sac (g/L)	AR (g/L)	AT <sub>cons</sub> (g/L)
1	25	25	16,72
2	25	75	40,03
3	75	25	58,49
4	75	75	94,91
5	14,6	50	22,86
6	85,3	50	79,27
7	50	14,6	36,24
8	50	85,3	67,20
9	50	50	44,85
10	50	50	50,73
11	50	50	50,30

Onde,

**Sac:** sacarose

**AR:** açúcares redutores (glicose e frutose)

**OLIGO:** oligossacarídeos

**DXT:** dextrana

**Y<sub>OLIGO</sub>:** rendimento em oligossacarídeos

**Y<sub>DXT</sub>:** rendimento em dextrana

**AT<sub>CONS</sub>:** açúcares totais consumidos

A dextrana produzida no suco após a síntese foi determinada experimentalmente. Já os açúcares totais consumidos, os oligossacarídeos prebióticos e os rendimentos em dextrana e em oligossacarídeos foram calculados através de balanço de massa, por isso os desvios padrões não são apresentados para estas grandezas.

A Tabela 5 apresenta os efeitos das variáveis independentes (sacarose e açúcares redutores) na concentração e no rendimento de oligossacarídeos e de dextrana e na concentração de açúcares totais consumidos.

Tabela 5. Efeitos estimados para concentração e rendimento de oligossacarídeos e dextrana e para açúcares totais consumidos

Fator	OLIG		DXT		Y <sub>OLIG</sub>		Y <sub>DXT</sub>		AT cons	
	Efeito	S.E.	Efeito	S.E.	Efeito	S.E.	Efeito	S.E.	Efeito	S.E.
Média	48,45*	2,75*	0,17	0,34	48,61*	2,46*	48,45*	3,10*	0,17	0,50
Sac (L)	43,96*	3,37*	0,16	0,42	44,11*	3,02*	20,65*	3,79*	-0,38	0,61
Sac (Q)	2,41	4,01	0,64	0,49	3,05	3,59	-2,87	4,52	0,70	0,73
AR (L)	26,19*	3,37*	-0,30	0,42	25,89*	3,02*	1,28	3,79	-0,71	0,61
AR (Q)	3,73	4,01	-0,04	0,49	3,69	3,59	3,53	4,52	0,17	0,73
Sac x AR	5,92	4,77	0,63	0,59	6,56	4,27	-2,25	5,37	1,35	0,86

\* Significativo em um intervalo de 95% de confiança.

De acordo com a Tabela 5, observa-se que no intervalo de confiança de 95% os efeitos lineares da sacarose e dos açúcares redutores apresentaram-se significativos sobre os oligossacarídeos. Somente o efeito linear da sacarose foi significativo sobre o rendimento em oligossacarídeos. Com relação a concentração e o rendimento em dextrana os efeitos das variáveis estudadas não foram significativos.

A Tabela 5 apresenta os efeitos das variáveis independentes (sacarose e açúcares redutores) nos açúcares totais consumidos, mostrando que apenas a sacarose linear e o açúcar redutor linear apresentam efeito significativo sobre o açúcar total consumido no intervalo de confiança de 95%.



Os modelos de regressão obtidos para a concentração e rendimento dos oligossacarídeos prebióticos, bem como para os açúcares totais consumidos são expressos pelas equações 12 a 14, respectivamente.

$$\text{Oligossacarídeos (g/L)} = 2,42 + 4,50 \times 10^{-1} S - 1,16 \times 10^{-2} AR + 1,93 \times 10^{-3} S^2 + 2,99 \times 10^{-3} AR^2 + 4,74 \times 10^{-3} S \cdot AR \quad (12)$$

$$Y_{\text{OLIG}} (\%) = 23,32 + 7,33 \times 10^{-1} S - 1,67 \times 10^{-1} AR - 2,30 \times 10^{-3} S^2 + 2,82 \times 10^{-3} AR^2 - 1,80 S \cdot AR \quad (13)$$

$$A_T \text{ consumido (g/L)} = 5,20 + 3,76 \times 10^{-1} S - 3,95 \times 10^{-2} AR + 2,44 \times 10^{-3} S^2 + 2,95 \times 10^{-3} AR^2 + 5,25 \times 10^{-3} S \cdot AR \quad (14)$$

Onde,

S: Sacarose (g/L)

AR: Açúcar redutor (g/L)

As análises de variância (ANOVA) para os modelos de regressão obtidos para a concentração e rendimento de oligossacarídeos prebióticos e dextrana, bem como para os açúcares totais consumidos são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Análise de variância (Eqs. 12 a 14)

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	Valor de F
<b>Oligossacarídeos (Eq.12)</b>				
Regressão	5291,22	5	1058,24	46,54
Residual	113,68	5	22,74	
Total	5404,9	10		
Coefficiente de Correlação	0,98			
F tabelado (95%)				$F_{5,5} = 5,05$
<b>Rendimento em oligossacarídeos (Eq. 13)</b>				
Regressão	902,97	5	180,59	6,27
Residual	143,98	5	28,80	
Total	1046,95	10		
Coefficiente de Correlação	0,86			
F tabelado (95%)				$F_{5,5} = 5,05$
<b>Açúcares totais consumidos (Eq. 14)</b>				
Regressão	5297,82	5	1059,56	58,23
Residual	90,99	5	18,20	
Total	5388,81	10		
Coefficiente de Correlação	0,98			
F tabelado(95%)				$F_{5,5} = 5,05$

De acordo com a Tabela 6 que apresentaram a ANOVA para os modelos de regressão ajustados, os valores de F calculados para os modelos de concentração e rendimento de oligossacarídeos prebióticos, bem como para os açúcares totais consumidos foram maiores que o valor de  $F_{5,5}$  Tabelado (5,05) no intervalo de 95% de confiança, assim os modelos podem ser considerados estatisticamente significativos, de acordo com o teste F.

Os resultados de concentração e rendimento de oligossacarídeos prebióticos, apresentados na Tabela 3, bem como os resultados de açúcares totais consumidos apresentados na Tabela 4 foram analisados através de gráficos de superfície de resposta que são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7 (Eq. 12 a 14).

A análise de superfície de resposta para os oligossacarídeos prebióticos (Figura 5) mostra que o aumento das concentrações de sacarose em combinação com o aumento das concentrações de açúcar redutor favorece a formação dos oligossacarídeos prebióticos, já que, estes só podem ser formados se houver a combinação de sacarose e açúcares redutores. A maior concentração de oligossacarídeos (94,81g/L) foi obtida utilizando-se 75g/L de sacarose em combinação com 75g/L de açúcar redutor. Resultado semelhante foi obtido por Silva et al. (2012), ao sintetizar oligossacarídeos prebióticos no suco de caju. Já Rabelo (2008), obteve a maior concentração de oligossacarídeos no suco de caju fermentado utilizando 75g/L de sacarose e 125g/L de açúcar redutor, essa diferença de resultados foi observada uma vez que o planejamento experimental utilizado por Rabelo (2008) contemplou maiores concentrações de açúcares redutores e estes açúcares atuam como aceptores na reação, contribuindo para maior formação de oligossacarídeos.

Considerando o ponto de maior concentração de oligossacarídeos (94,81g/L), a ingestão de uma porção de 200 mL de suco prebiótico de limão fornecerá 18,8 g de oligossacarídeos. Dessa forma, o consumo diário de um copo de 200 mL desse suco é suficiente para suprir a recomendação dietética de prebióticos por dia, já que, segundo Raizel et al., (2011), é necessário o consumo de 18 a 20g/dia de prebióticos para a obtenção de efeitos benéficos a saúde. Porém, segundo os mesmos autores, doses entre 20 a 30 g/dia podem gerar desconforto intestinal.

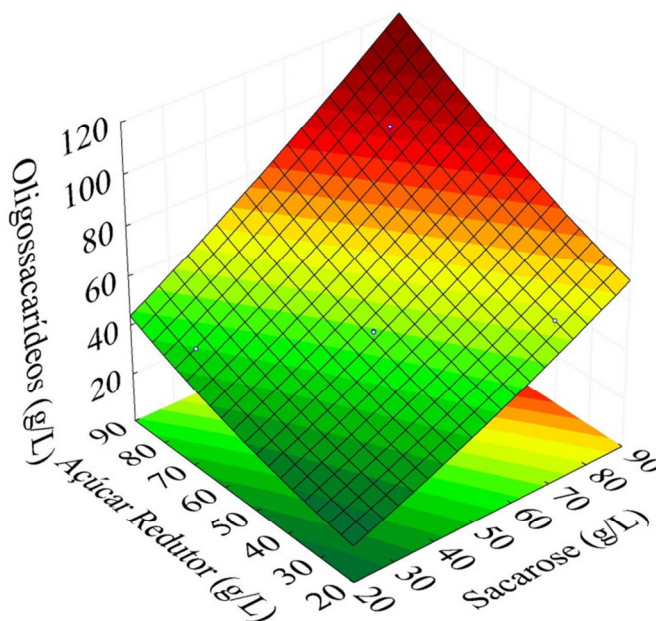


Figura 5. Oligossacarídeos prebióticos obtidos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores.

A Figura 6 mostra que o rendimento em oligossacarídeos é favorecido pelo aumento da concentração de sacarose, isso porque a sacarose fornece moléculas de glicose que são incorporadas aos açúcares redutores, formando os oligossacarídeos prebióticos. O rendimento máximo em oligossacarídeos (63,21%) também foi obtido utilizando-se uma combinação de 75g/L de sacarose e 75 g/L de açúcares redutores. Silva et al., também obtiveram o melhor rendimento de oligossacarídeos (69,82%) no suco de caju, utilizando as mesmas concentrações de sacarose e açúcar redutor, já Rabelo (2008) obteve maior rendimento (76,96%) utilizando baixas concentrações de sacarose (25 g/L) e altas concentrações de açúcar redutor (125 g/L), uma vez que, em seu estudo a concentração de açúcar redutor foi mais significativa para a formação dos oligossacarídeos no suco de caju.

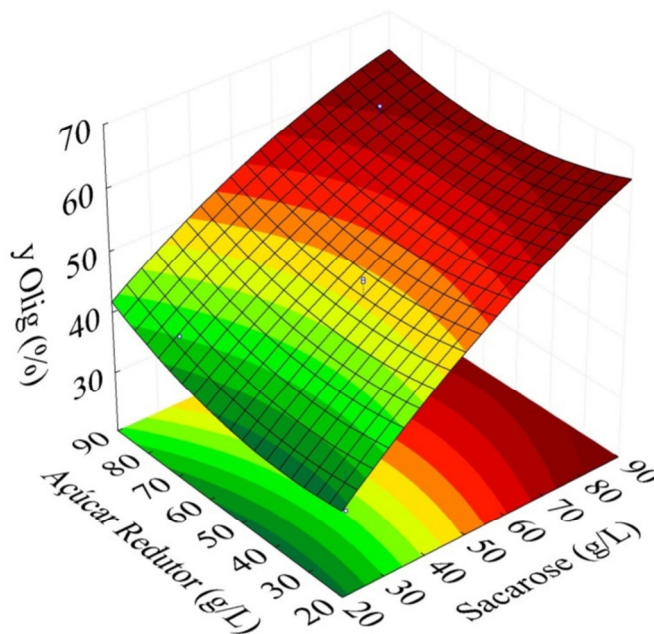


Figura 6. Rendimento em oligossacarídeos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores.

A superfície de resposta obtida para os açúcares totais consumidos (Figura 7) mostra que o aumento da concentração de sacarose tem maior influência no consumo de açúcares totais do que o aumento da concentração de açúcares redutores, pois a sacarose é consumida tanto para a produção de oligossacarídeos como a produção de dextrana. Na síntese dos oligossacarídeos ocorreu um elevado consumo de açúcares totais, já que esses açúcares foram convertidos a oligossacarídeos prebióticos e dextrana.

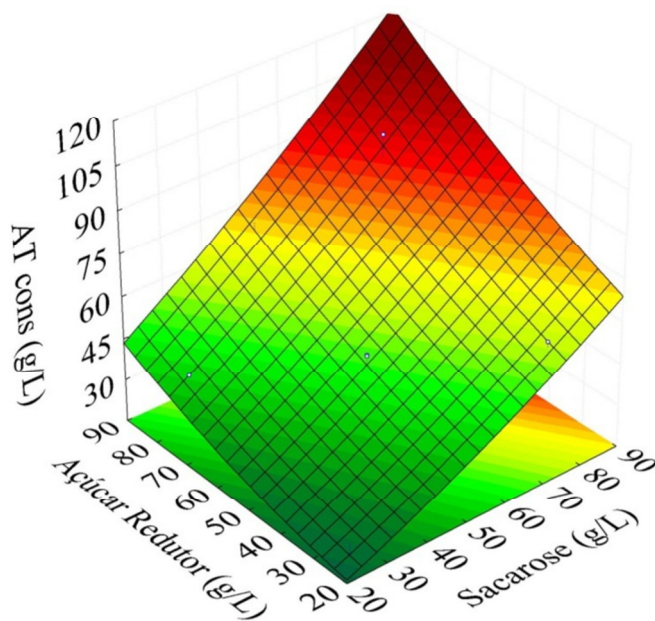


Figura 7. Açúcares totais consumidos em função da concentração de sacarose e açúcares redutores.

Os oligossacarídeos prebióticos formados, detectados através de cromatografia de camada delgada (CCD), são apresentados na Figura 8.

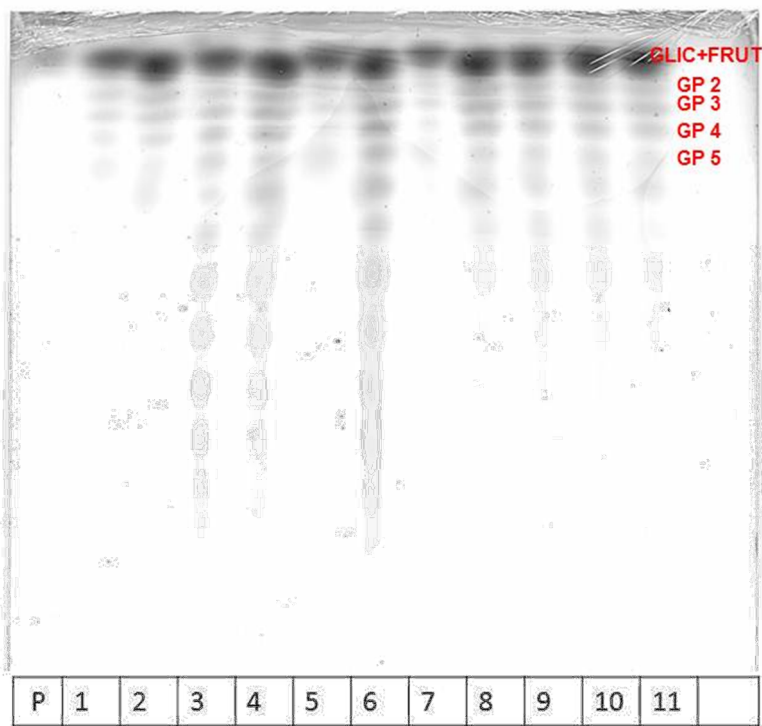


Figura 8. Oligossacarídeos detectados através de cromatografia de camada delgada.

Onde,

P: Padrão (glicose, frutose e sacarose)

1 a 11: ensaios 1 a 11 (ver tabela 1)

A Figura 8 mostra que em todos os ensaios do planejamento foram formados oligossacarídeos prebióticos com graus de polimerização (GP) de 2 a 5. Silva et al. (2012), também observaram que em todos os pontos do planejamento obtiveram GP de no mínimo 5, já Rabelo et al. (2009) e Vergara et al. (2010) obtiveram GP superior a 6, todos esses autores sintetizaram oligossacarídeos prebióticos em suco de caju. Segundo Silva et al. (2012) o uso da enzima parcialmente purificada permite o alongamento da cadeia do oligossacarídeo.

Os ensaios 3, 4 e 6 destacaram-se por apresentarem oligossacarídeos com os maiores graus de polimerização (GP 10). Isso indica que concentrações mais elevadas de sacarose no suco levam ao aumento do grau de polimerização. Rabelo (2008), ao produzir oligossacarídeos no suco de caju a partir da fermentação do *L. mesenteroides*, utilizando o próprio suco como meio de cultura, verificou que quanto mais próximas as concentrações de açúcares redutores e de sacarose, maior o grau de polimerização, já que a combinação dessas concentrações de açúcares favorece a formação dos oligossacarídeos prebióticos.

### **4.3. Secagem do Suco Prebiótico de Limão**

Após o planejamento experimental realizado para a síntese, foi escolhido o ponto 4 do ensaio, onde obteve-se o maior rendimento em oligossacarídeos, para elaboração do suco prebiótico de limão e posterior secagem do produto em leito de jorro.

Com o intuito de viabilizar a secagem, foi adicionado ao suco prebiótico de limão, a maltodextrina (DE 20) como agente de secagem, uma vez que, o uso deste agente pode aumentar a quantidade de sólidos e reduzir o teor de umidade do produto seco. Isto sugere que a maltodextrina é capaz de alterar a capacidade de aderência de moléculas, como açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos, facilitando a secagem (QUEK et al., 2007). A maltodextrina é também um produto de cor e sabor neutros, além de ser relativamente barata (BHANDARI et al., 1997).

Dessa forma, foi adicionado ao suco prebiótico de limão a maltodextrina nas quantidades 10, 15 e 20% (p/p) antes da secagem em leito de jorro nas temperaturas de 60 e 70°C.

Do suco contendo 10% de maltodextrina e submetido à secagem nas temperaturas tanto de 60 como de 70°C, não foi possível obter pó, já que o material seco ficou totalmente aderido no reservatório coletor. Além disso, as paredes do secador e as partículas inertes utilizadas ficaram totalmente impregnadas com o suco. Martinelli (2008), também observou problema semelhante ao secar suco de limão concentrado em leito de jorro e atribuiu essa dificuldade à baixa temperatura de transição vítrea do material. No caso desse estudo, a secagem ainda é mais complexa devido à adição de açúcares (sacarose, glicose, frutose) ao suco, necessária para obtenção dos oligossacarídeos prebióticos.

Alves (2012) explica que a baixa temperatura de transição vítrea dos sucos, a alta higroscopicidade dos pós, o aumento da solubilidade dos açúcares devido à temperatura e o baixo ponto de fusão estão relacionados ao problema de *stickness*. Este fenômeno ocorre em materiais denominados *stick*, como por exemplo, os ácidos e açúcares presentes nos sucos de frutas. Desta forma, durante a secagem, estes materiais podem permanecer na forma de xarope ou aderir nas paredes do equipamento, levando a perdas de rendimento e problemas operacionais, além de perdas na qualidade, dificuldades de manipulação e reconstituição do produto.

Na tentativa de obter pós de maior qualidade, foi acrescentado ao suco prebiótico maior quantidade de maltodextrina (15 e 20% - p/p) com o objetivo de aumentar a temperatura de transição vítrea do material, tendo em vista que a temperatura de transição vítrea da sacarose pura é de 62° C e as maltodextrinas de DE iguais a 20, 10 e 4 tem temperaturas de transição vítrea de 135, 160 e 190° C, respectivamente (MARTINELLI, 2008).

O suco de limão prebiótico em pó foi produzido utilizando 15% (p/p) de maltodextrina nas temperaturas de secagem de 60 e 70°C e 20% (p/p) de maltodextrina a 60°C. Os pós obtidos nesses três pontos de secagem foram caracterizados em relação ao teor de umidade, atividade de água ( $A_w$ ), higroscopicidade, tempo de reconstituição e grau



de *caking*. O rendimento do pó foi calculado em função do teor de sólidos solúveis do suco.

A Tabela 7 apresenta os valores de umidade, atividade de água e rendimento dos pós do suco de limão prebiótico com 15% e 20% (p/p) de maltodextrina nas temperaturas de secagem de 60 e 70°C.

Tabela 7. Umidade, atividade de água e rendimento do pó do suco de limão prebiótico

Ensaio	Temperatura	Rendimento	Umidade	Aw
	°C/ % Malto	(%)	(%)	
1	60°C/15%	32,03 <sup>b</sup>	3,27 <sup>a</sup> ± 0,11	0,2409 <sup>a</sup> ± 0,00
2	70°C/15%	32,35 <sup>a</sup>	2,50 <sup>b</sup> ± 0,08	0,1700 <sup>b</sup> ± 0,00
3	60°C/20%	27,43 <sup>c</sup>	2,24 <sup>c</sup> ± 0,11	0,1800 <sup>b</sup> ± 0,00

Média ± desvio padrão (n=3). Valores seguidos de letras minúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa pelo teste Tukey (p < 0,05).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, observa-se que o pó obtido no ensaio 2 (70°C e 15% de maltodextrina), apresentou o melhor rendimento (32,35%). Dentre os ensaios realizados, o ponto 2 foi submetido a maior temperatura de secagem, em comparação com os outros pontos. Souza (2009), ao secar misturas de polpas de frutos tropicais em leito de jorro, observou que o aumento da temperatura de secagem promoveu maiores rendimentos do pó, no seu estudo o maior rendimento (59,2%) foi obtido utilizando a temperatura de 80°C.

O ensaio que apresentou o menor teor de umidade (2,24 ± 0,11 %) foi o 3, provavelmente devido a maior concentração de maltodextrina (20%) utilizada. Por outro lado, Gomes et al., (2004), produziram pó de acerola em leito de jorro a mesma temperatura (70°C) com umidade superior (4,07%) a do ensaio 3. Segundo Alves (2012), o uso de maltodextrina como agente de secagem pode aumentar a quantidade de sólidos da amostra e reduzir o teor de umidade do produto seco. Vale ressaltar que em todos os ensaios, os pós estão em conformidade com a legislação vigente que estipula um máximo de 5% de umidade (BRASIL, 2005a).

Os valores de atividade de água dos ensaios 1, 2 e 3 foram  $0,24 \pm 0,00$ ;  $0,17 \pm 0,00$  e  $0,18 \pm 0,00$  respectivamente. Segundo Argandoña (2005), todos os pós obtidos são considerados alimentos de baixa  $A_w$ , uma vez que todos apresentam  $A_w$  inferior a 0,60 e são microbiologicamente estáveis. A  $A_w$  dos pós dos ensaios 2 e 3 não diferiram significativamente a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. No ensaio 1, em que foi utilizado a menor temperatura de secagem ( $60^\circ\text{C}$ ) e a menor concentração de maltodextrina (15%) o valor de  $A_w$  foi maior. Assim como na análise de umidade, o valor de atividade de água também foi reduzido com a adição da maltodextrina (OLIVEIRA, 2012).

A Tabela 8 apresenta o tempo de reidratação, a higroscopicidade (90 minutos) e o grau de caking dos pós do suco de limão prebiótico com 15% e 20 % de maltodextrina nas temperaturas de secagem de 60 e  $70^\circ\text{C}$ .

Tabela 8. Tempo de reidratação, higroscopicidade, grau de *caking* do pó do suco de limão prebiótico

Ensaio	Temperatura $^\circ\text{C}/\%$ Malto	Reidratação (segundos)	Higroscopidade (% - 90 min)	Grau de Caking (%)
1	$60^\circ\text{C}/15\%$	$47,90^b \pm 0,00$	$12,60^a \pm 0,20$	$100,00^a \pm 0,00$
2	$70^\circ\text{C}/15\%$	$51,32^a \pm 0,00$	$12,79^a \pm 0,98$	$100,00^a \pm 0,00$
3	$60^\circ\text{C}/20\%$	$45,49^c \pm 0,00$	$11,11^a \pm 0,21$	$96,69^b \pm 0,43$

Média  $\pm$  desvio padrão (n=3). Valores seguidos de letras minúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Analisando o tempo de reidratação dos pós, observa-se que o menor tempo foi obtido na maior concentração de maltodextrina (ensaio 3). Segundo Goula e Adamopoulos (2010), o efeito da quantidade de maltodextrina na reconstituição depende da umidade e da capacidade de aderência do produto, uma vez que quanto menor o teor de umidade e a capacidade de aderência do material, maior será a área de superfície das partículas em contato com a água de reidratação. Dessa forma, os resultados encontrados condizem com esses autores, já que, o ensaio 3 também apresentou o menor teor de umidade e o menor grau de *caking*.

As higroscopiedades dos pós não diferiram significativamente entre os ensaios, no entanto, o pó do ensaio 3 apresentou menor higroscopicidade devido a maior concentração de maltodextrina (20% p/p). Segundo Tonon et al. (2009), isso ocorre pois a maltodextrina é um material de baixa higroscopicidade que reduz a higroscopicidade dos pós, confirmando a eficiência do material como agente encapsulante.

O grau de *caking* do pó obtido no ensaio contendo 20% (p/p) de maltodextrina foi menor em relação aos outros ensaios contendo 15% (p/p) do mesmo agente de secagem, comprovando que o uso da maltodextrina como agente de secagem reduz o grau de aglomeração dos pós. Já Goula e Adamopoulos (2010) atomizando suco de laranja concentrado com maltodextrina de diferentes graus de dextrose equivalente (DE) encontraram valores de grau de *caking* bem inferiores aos deste estudo (5,9 a 24,8 %), eles comentam que a aglutinação de alimentos ricos em açúcares deve-se a absorção de umidade.

De maneira geral, nos alimentos ricos em açúcares, como os sucos de frutas, um dos fatores mais críticos é a baixa temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) desses compostos, o que facilita a absorção de água, promovendo a formação de aglomerados, a dissolução de açúcares amorfos e a recristalização dos mesmos (JULIANO e BARBOSA-CÁNOVAS, 2010). Como consequência, há dificuldade na reconstituição e nas condições de escoamento do produto, além de afetar o rendimento e acelerar outras reações de deterioração que interferem na qualidade do produto (ENDO et al., 2007).

A partir das análises dos resultados obtidos, como as diferenças entre as características dos pós não foram tão expressivas, o critério de escolha do ponto de secagem para posterior reidratação e caracterização do suco foi o rendimento do pó, uma vez que esse é um dos fatores que a indústria de alimentos mais leva em consideração. Dessa forma, o pó escolhido foi o do ensaio 2 (70°C/15%), tendo em vista que sua secagem proporcionou melhor rendimento (32,35%) e além disso, apresentou também menor  $A_w$  em relação aos outros ensaios. O ensaio 2 também foi selecionado por possuir concentração de maltodextrina reduzida, tendo em vista que o uso de concentrações mais elevadas desse agente de secagem pode interferir nas características físico-químicas e sensoriais do produto, além de tornar o processo mais oneroso, devido ao custo da maltodextrina.

#### 4.4. Comparação entre as características físico-químicas do suco de limão, suco prebiótico e suco reconstituído

Analisando os resultados da Tabela 9, pode-se observar que o pH de todos os sucos foram os mesmos. Já os valores de acidez do suco prebiótico de limão e do suco reconstituído foram bem mais altos do que o do suco de limão. Isso pode ter ocorrido, pois antes da síntese do suco prebiótico o pH do suco de limão foi ajustado a 5,2 (pH ótimo de atividade da enzima) e após a síntese, o pH foi corrigido até o pH original do suco de limão (2,70) adicionando ácido cítrico.

Tabela 9. Características físico-químicas do suco de limão, suco prebiótico e suco reconstituído

Características	Suco de Limão	Suco Prebiótico de Limão	Suco Prebiótico Reconstituído
pH	2,70 ± 0,00 <sup>a</sup>	2,70 ± 0,00 <sup>a</sup>	2,70 ± 0,02 <sup>a</sup>
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	5,16 ± 0,02 <sup>c</sup>	26,11 ± 0,12 <sup>a</sup>	27,47 ± 0,10 <sup>a</sup>
Sólidos solúveis totais (°Brix a 28°C)	8,67 ± 0,04 <sup>c</sup>	17,67 ± 0,18 <sup>b</sup>	30,57 ± 0,22 <sup>a</sup>
Vitamina C (mg/100g)	27,58 ± 0,00 <sup>a</sup>	27,34 ± 0,00 <sup>ab</sup>	27,12 ± 0,00 <sup>b</sup>
Aw (a 25 °C)	0,9987 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,9862 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,9791 ± 0,00 <sup>c</sup>
L*	80,65 ± 0,24 <sup>a</sup>	79,70 ± 0,12 <sup>b</sup>	80,84 ± 0,07 <sup>a</sup>
a*	-1,45 ± 0,00 <sup>b</sup>	-1,63 ± 0,06 <sup>a</sup>	-1,72 ± 0,05 <sup>a</sup>
b*	4,98 ± 0,01 <sup>c</sup>	5,77 ± 0,07 <sup>b</sup>	6,55 ± 0,08 <sup>a</sup>

Média ± desvio padrão (n=3). Valores seguidos de letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença estatisticamente significativa pelo teste Tukey (p < 0,05).

O teor de sólidos solúveis foi maior nos sucos prebiótico de limão (17,67 ± 0,18) e no suco reconstituído (30,57 ± 0,22), uma vez que para a obtenção do suco prebiótico foi necessário adicionar sacarose, glicose e frutose e para produção do suco em pó foi adicionado maltodextrina e a adição desses carboidratos eleva o teor de sólidos solúveis. Oliveira, 2012 observou que ao adicionar 17% de maltodextrina na composição da polpa de cajá os sólidos solúveis passaram de 9,33 ± 0,06 para 23,83 ± 0,06 °Brix.

O suco prebiótico reconstituído apresentou menor teor de vitamina C em relação ao suco de limão, já o suco prebiótico não apresentou diferença significativa em relação aos

demais ( $p \leq 0,05$ ). A diferença entre os teores de vitamina C dos sucos é mínima, indicando que as perdas desse nutriente durante o processo de secagem foram bastante reduzidas. Silva (2009), comenta que nos pós obtidos em leite de jorro a temperatura de 60°C o conteúdo de vitamina C não foi alterado.

O suco prebiótico reconstituído apresentou o menor valor de  $A_w$  ( $0,9791 \pm 0,00$ ), provavelmente devido à maltodextrina adicionada no suco prebiótico antes da secagem.

Analisando a coloração dos sucos, observa-se que para o parâmetro Luminosidade ( $L^*$ ) o suco prebiótico reconstituído e o suco de limão não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ), já o suco prebiótico apresentou menor  $L^*$ . Isso pode ser explicado devido aos oligossacarídeos e a dextrana presentes no suco prebiótico que deixaram o suco mais turvo. Com relação ao parâmetro  $a^*$  cuja variação é do verde (-) ao vermelho (+), todos os sucos apresentaram valores negativos, o que caracteriza a cor verde, coloração característica do suco de limão. Observando os resultados de coloração do parâmetro  $b^*$  cuja variação é do amarelo (+) para o azul (-), podemos observar que todos os sucos diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ). O suco prebiótico reconstituído apresentou valor de  $b^*$  mais elevado do que os outros, indicando intensificação da cor amarela. Almeida (2012) comenta que durante a secagem do suco de abacaxi em *spray dryer* pode ter corrido leves reações de escurecimento das amostras quando as mesmas foram submetidas ao processo de desidratação, o que explica a intensificação da coloração amarela do suco.

## 5. CONCLUSÕES

O suco de limão pode ser empregado para a síntese de oligossacarídeos prebióticos, uma vez que os açúcares presentes em sua composição podem ser aproveitados para elaboração do suco prebiótico.

A síntese de oligossacarídeos prebióticos é favorecida com o aumento das concentrações de sacarose (75 g/L) em combinação com o aumento das concentrações de açúcar redutor (75 g/L) e os maiores graus de polimerização são obtidos quando utiliza-se maiores concentrações de sacarose.

Utilizando 10% (p/p) de maltodextrina para a secagem do suco de limão prebiótico não foi possível a recuperação do pó. Porém, em todas as outras concentrações de maltodextrina e temperaturas testadas foi possível obter pó, com valores de umidade e  $A_w$  adequados para conferir estabilidade microbiológica ao produto.

O teor de umidade, o tempo de reidratação, a higroscopicidade e o grau de *caking* dos pós foram menores no ensaio 3 (60°C/20% de maltodextrina), devido a maior concentração de agente de secagem utilizada nesse ensaio.

O pó obtido a 70°C com 15% de maltodextrina foi escolhido para produção do suco de limão prebiótico desidratado por apresentar o melhor rendimento e a menor  $A_w$ .

A comparação entre as características físico-químicas do suco de limão, do suco prebiótico e do suco reconstituído evidencia que a secagem em leito de jorro pouco interfere nas características originais do suco de limão. Comprovando que esse método de secagem pode ser empregado para obtenção de suco prebiótico de limão em pó, garantido um produto de alta estabilidade e com suas propriedades conservadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. D. L. **Desidratação de Suco de Abacaxi Probiótico por Spray-Dryer.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012.

ALVES, N. N. **Desidratação de suco de laranja probiótico por spray-dryer.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012.

ALSOP, L. Industrial production of dextran. **Progress in Industrial Microbiology**, v.18, p. 1 - 44, 1983.

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

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. **Pronto para Crescer.** Santa Cruz do Sul, Editora Gazeta Santa Cruz, 2011. 79p.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos, 2008.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists** 15th ed. Washington, 1995.2v.

ARGADOÑA, E. J. S. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: Avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade.** 2005. Tese (Doutorado em

Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

BAZÁN, JUAN HERALDO VILOCHE. **Estudo da Produção Enzimática de Dextrana Clínica**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 136 p. Tese (Mestrado), 1993.

BELLO, J. **Os alimentos funcionais e nutracêuticos: nova gama de produtos na indústria alimentícia**. São Paulo, 1995.

BENALI, M.; AMAZOUZ, M. Effect of drying aid agents on processing of sticky materials. **Developments Chemical Engineering and Mineral Processing**, v. 10, p.1-14, 2002.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rice foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. BocaRaton: Taylor & Francis, p. 261-292, 2005.

BHANDARI, B.; HOWES, T. Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. **Drying Technology**, v. 23, p. 781-797, 2005.

BLAUT, M. Relationship of prebiotics and food to intestinal microflora. **European Journal of Nutrition**, v. 41, supplement 1, p.1-16, 2002.

BORGES, V.C. Alimentos funcionais: prebióticos, probióticos, fitoquímicos e simbióticos. IN: WAITZBERG, D.L. **Nutrição Oral, Enteral e parenteral na Prática Clínica**. 3ª Edição, v.2, São Paulo, Atheneu, 2002, 1495-1509.

BORTOLOZO, E. Q.; QUADROS, M. E. R. Aplicação de inulina e sucralose em iogurte. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, p.37 - 47. 2007.



BRANCO, I. G.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SILVA, M. M.; PAULA, T. M. Avaliação sensorial e estabilidade físico-química de um blend de laranja e cenoura. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.27, n. 1, p. 7-12, 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2005.

BRENNAM, J. G.; HERRERA, J.; JOWITT, R. A study of some of the factors affecting the spray drying of concentrated orange juice, on laboratory scale. **Journal of Food Technology**. Oxford, v. 6.p. 295-307, 1971.

CABRAL, R.A.F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; FINZER, J.R.D. Effect of apparent viscosity on fluidized bed drying process parameters of guava pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 1096–1106, 2007.

CANDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos funcionais. Uma revisão**. Boletim da SBCTA. v. 29, n. 2, p. 193-203, 2005.

CAPRILES, V.D.; SILVA, K.E.A; FISBERG, M. **Prebióticos, Probióticos e Simbióticos: nova tendência no mercado de alimentos funcionais**. Nutrição Brasil, Rio de Janeiro, v. 4, nº6, p. 327-335, nov./dez. 2005.

CHAVES, J. A. F.; URBANO, E. A.; MEDEIROS, U. K. L.; MEDEIROS, M. F. D. Análise dos parâmetros de operação de um leito de jorro para secagem de suspensões. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. 2009. Uberlândia – MG, julho 2009.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Spray dryer parameters for fruit juice drying. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 230-236, 2007.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Manufacturing better quality food powders from spray drying and subsequent treatments. **Drying Technology**, v. 26, n. 11, p. 1313-1318, 2008.

CHUNG, C. H.; DAY, D. F. Glucooligosaccharide from *Leuconostoc mesenteroides* B-742 (ATCC 13146): a potential prebiotic. **Journal of industrial microbiology and biotechnology**, v. 29, p. 196 - 199, 2002.

CHUNG, C.H.; DAY, D. F. Efficacy of *Leuconostoc mesenteroides* (ATCC 13146) isomaltooligosaccharides as poultry prebiotic. **Poultry Science**, v. 83, p. 1302 - 1306, April, 2004.

COLLARES, F. P.; FINZER, J. R.; KIECKBUSCH, T. G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 261-267, 2004.

DIAS, M. C.; MARQUES, W. M.; BORGES, S. V.; MANCINI, M. C. Efeito da secagem em leite de jorro bidimensional sobre as propriedades físicas e tecnológicas do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, 2000.

DOUGLAS, L. C.; SANDERS, M. E. Probiotics and Prebiotics in Dietetics Practice. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 108, p. 510-521, 2008.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, P. A.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, p. 350 - 356, 1956.

ENDO, E.; BORGES, S.V.; DAIUTO, E.R.; CEREDA, M.P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edullis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p. 382-386, 2007.

FRACARO, A. A. **Produção de suco e polpa de maracujá**. TODA FRUTA. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra>>. Edição: 8/7/04. Acesso em: 03 nov. 2012.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 181-207, 1982.

FRAILE, V.; LESCANO, C. A. A.; ROCHA, S. C. S. Determinação das curvas de secagem do resíduo do leite de soja em leite de jorro com inertes e da curva fluidodinâmica para o

material inerte. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Campinas - SP, 2005.

FOOKS, L. J.; GIBSON, G. R. Probiotics and modulators of the gut flora. **British Journal of Nutrition**, v. 88, n. 1, p. S39-S49, 2002.

FORTES, R. C.; MUNIZ, L. B. Efeitos da suplementação dietética com frutooligossacarídeos e inulina no organismo humano: estudo baseado em evidências. **Com. Ciências Saúde**, v. 20, n. 3, p. 241-252, 2009.

GIBSON, G. R. Prebiotics. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 18, n. 2, p. 287-298, 2004.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v. 12, p. 125-1401, 1995.

GOMES, P. M. A., FIGUEIREDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GOMES, P. M. DE A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. DE M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

GONZÁLEZ-MOLINA, E.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. A new drink rich in healthy bioactives combining lemon and pomegranate juices. **Food Chemistry**, n. 115 p. 1364-1372, 2009.

GONZÁLEZ-MOLINA, E.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Genotype and harvest time influence the phytochemical quality of Fino lemon juice (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) for industrial use. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 1669-1675, 2008.

GOULA, A.M; ADAMOPOULOS, K.G.A new technique for spray drying orange juiceconcentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 11, p. 342-351, 2010.

GUIMARÃES, D.R.B.; COSTA, F. A.A., RODRIGUES, M.I., AND MAUGERI, F. Optimization of Dextran Synthesis and Acidic Hidrolisys bySurface Response Analysis.**Journal ChemistryEngineering**, Brazilian, v.16, n.2, p.129-139,1999.

HIGASHIMURA, Y.; EMURA, K.; KUZE, N.; SHIRAI, J.; KODA, T. **Fading inhibitors**. Canadian Patent 2378464, 2000.

IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. **Frutas Brasileiras em Ascensão**. Disponível em:[http://www.ibraf.org.br/0909\\_FrutasBrasileirasAscensao.asp](http://www.ibraf.org.br/0909_FrutasBrasileirasAscensao.asp). Acesso em: 15mar. 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**, 4 ed, São Paulo, 2008.

JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; PINTO, L. A. A.; QUEIROZ, M. I. Drying of Aphanothece microscopic Nägeli microalgae in spouted bed. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.4, p.387-392 , 2006.

JANGAM, S. V.; JOSHI, V. S.; MUJUMDAR, A. S.; THORAT, B. N. Studies on Dehydration of Sapota (Achras zapota). **Drying Technology**, v. 26, p. 369-377, 2008.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vaccum dried mango powders properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125- 134, 2004.

JAYA, S.; DAS, H. Glass Transition and Sticky Point Temperatures and Stability/Mobility Diagram of Fruit Powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. online, p. 1-7, 2009.

JAYASUNDERA, M; ADHIKARI, B; HOWES, T; ALDRED, P. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterization. **Food Chemistry**, v. 128, p. 1003-1016, 2011.

JULIANO, P. & BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food Powders Flowability Characterization: Theory, Methods, and Applications. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

KAUR, N.; GUPTA, A. K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. **J. Biosci.**, Bangalore, v. 27, p. 703-714, 2002.

KOLIDA, S.; GIBSON, G. Prebiotic capacity of inulin-type fructans. **J Nutr.**, v. 137, n. 11, p.2503S-6S, 2007.

LABMAQ do Brasil Ltda. (2003) Manual de Operações do Mini “leito fluidizado” FBD 3.0(<http://www.labmaqdobrasil.com.br>).

LIMA, L. M. O.; SANTOS, C. I.; COSTA, F. A.; LIMA, M. F. M.; SANTOS, E. M. B. D. Desidratação de polpas de frutas tropicais em Leito de Jorro. In: 1º Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - COBEQ-IC. 1995. São Carlos. Anais do Congresso... São Carlos/SP. p. 121-123. 1995.

LIMA, L. M. R.; MORAIS, V. L. M.; ALSINA, O. L. S. Correlação Empírica para a Circulação de Sólidos na Secagem de Polpa de Frutas em Leito de Jorro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 17, 2008, Recife. **Anais...**, Engenharia Química: Energia e Novos Desafios, 2008.CD-Rom.

LUCKOW, T.; DELAHUNTY, C. Consumer acceptance of orange juice containing functional ingredients. **Food Research International**, v. 37, p. 805–814, 2004.

MADHUKUMAR, M. S.; MURALIKRISHNA, G. Fermentation of xylooligosaccharides obtained from wheat bran and Bengal gram husk by lactic acid bacteria and bifidobacteria. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 6, p 745-752, 2012.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; SANTOS, G. M. I.; SILVA, D. S.; FERNANDES, A. G.; PRADO, G. M. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, 2007.

MANOSROI, J.; KHOSITSUNTIWONG, N.; MANOSROI, A. Biological activities of fructooligosaccharide (FOS)-containing *Coix lachrymajobi* Linn extract. **Journal of Food Science and Technology**, v.8, p 498-503, 2011.

MARTINELLI, L. **Construção e desenvolvimento de um secador de leite pulsofluidizado para secagem de pastas e polpas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2008.

MARTINS, A. R. e BURKERT, C. A. V. Revisão: Galacto-oligossacarídeos (GOS) e seus efeitos prebióticos e bifidogênicos. **Braz. J. Food Technol.**, v. 12, n. 3, p. 230-240, 2009.

McNAMEE, B. F.; O'RIORDAN, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 4551-4555, 1998.

MEDEIROS, M.F.D. **Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro**. Tese de Doutorado em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001

MEDEIROS, M. F. D.; ALSINA, O. L. S.; ROCHA, S. C.; JERÔNIMO, C. E. M.; MATA, A. L. M. L.; MEDEIROS, U. K. L.; FURTUNATO, A. A. Escoabilidade de Leitos de Partículas Inertes com Polpa de Frutas Tropicais: Efeitos na Secagem em Leito de Jorro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 3, p. 475- 480, 2001.

MEDEIROS, M.F.D. ROCHA, S.C.S.; ALSINA, O.L.S.; JERÔNIMO, C.E.M.; MEDEIROS, U.K.L.; MATA, A.L.M.L. Drying of pulps of tropical fruits in spouted bed: effect of composition on dryer performance. **Drying Technology**, v. 20 (4-5), p. 855-881, 2002.

MEHRA, R.; KELLY, P. Milk oligosaccharides: structural and technological aspects. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 11, p. 1334-1340, 2006.

MELO, K. S.; NASCIMENTO, M. A.; GOMES, W. C.; CABRAL, S. B.; ROCHA, A. P. T. Fluidodinâmica de Leito de Jorro com Leite de Cabra e Polpa de Cajá. **Revista Verde**, v.5, n.4, p. 61-67, 2010.

MIYAKE, T.; MIKIHICO, Y.; KANO, T. **Imparting low-or anti-cariogenic property toorally usable products**. United States Patent 4518518, 1985.

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

MOROTI, C.; MAGRI, L. F. S.; SOUZA, J. C. B.; SOUZA, D. B. M.; COSTA, M. R.; SIVIERI, K. Potencial da Utilização de Alimentos Probióticos, Prebióticos e Simbióticos na Redução de Colesterol Sanguíneo e Glicemia. **Revista Ciênc. Biol. Saúde**, v. 11, n. 4, p. 63-67, 2009.

OLIVEIRA, A. R. G. de; BORGES, S. V.; FARIA, R. K.; ENDO, E.; GREGÓRIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis*) e abacaxi (*ananas comosus*) desidratados. **Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 38, n.3, p. 251-256, 2007.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

OLIVEIRA, M. A. **Avaliação da Influência de Adjuvantes de Secagem sobre as Propriedades de Suco de Caju Atomizado**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos** – Componentes dos Alimentos e Processos. 1 ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005, v. 1.

PALLAI E.; SZENTMARJAY, T.; MUJUMDAR, A. S. Spouted bed drying. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 2º Edição. New York: Marcel Dekker, 1995. Cap. 13, p. 453-488.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Fructooligosacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 385 - 390, 2003.

PEDRÃO, M. R.; BELEIA, A.; MODESTA, R. C. D.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Estabilidade Físico-Química e Sensorial do Suco de Limão *Tahiti* Natural e Adoçado, Congelado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, 1999.

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOELIICKE, A. P. B. **Alimentos Funcionais**. São Paulo: Editora Varela, 2005. 100 p.

PINHEIRO, A. M.; FERNANDES, A. G.; FAI, A.E.C.; PRADO, G.M.; SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A. Avaliação Química, físico-química e microbiológica de suco de frutas integrais: Abacaxi, Caju e Maracujá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 98-103, 2006.

PRADO, F. C.; PARADA, J. L.; PANDEY,A.; SOCCOL, C. R. Trends in non-dairy probiotic beverages. **Food Research International**, v. 41, p. 111–123, 2008.

PRATI, P., MORETTI, R. H., CARDELLO, H. M. A. B. Elaboração de Bebida Composta por Mistura de Garapa Parcialmente Clarificada-Estabilizada e Sucos de Frutas Ácidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p. 147-152, 2005.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P.The physicochemical properties of spray-driedwatermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386-392, 2007.

RABELO, M.C. **Aproveitamento do Pedúnculo do Caju para Síntese de Oligossacarídeos Prebióticos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

RABELO, M. C.; FONTES,C. O. M. L.; RODRIGUES,S. Enzyme synthesis of Oligosaccharides using cashew apple juice as substrate. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5574–5580, 2009.

RABELO, M. C.; HONORATO, T. L.; GONÇALVES, L. R. B; PINTO, G. A. S.; RODRIGUES, S. Enzymatic synthesis of prebiotic oligosaccharides. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 133 p. 21-40, 2006.

RABELO, M. C.; RODRIGUES, S.; PINTO, G. A. S.; GONCALVES, L. R. B. Síntese enzimática de adoçantes não cariogênicos. **In: XXIV Encontro Universitário de Iniciação a Pesquisa**, 2005, Fortaleza - CE. Caderno de Resumos do XXIV Encontro Universitário de Iniciação a Pesquisa, v. 1. p. 1-1, 2005.



RAIZEL, R.; SANTINI, E.; KOPPER, A. M.; FILHO, A. D. R. Efeitos do consumo de probióticos, prebióticos e simbióticos para o organismo humano. **Revista Ciência & Saúde**, v. 4, n. 2, p. 66-74, 2011.

RAMOS, C. M. P., LIMA, M. F. M., MARIA, Z. L. Obtenção de frutas desidratadas em pó, mediante secagem em leito de jorro. **Anais Associação Brasileira Química**, vol. 47, n. 1, p. 33-36, 1998.

RASTALL, R. A. Functional oligosaccharides: application and manufacture. *Annual Reviews in Food Science Technology*, v.1, p. 305-339, 2010.

RENUKA, B., KULKARNI, S. G., VIJAYANAND, P., PRAPULLA, S. G. Fructooligosaccharide fortification of selected fruit juice beverages: Effect on the quality characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, v. 42, p. 1031–1033, 2009.

RESEARCH; MARKETS. Functional foods market assessment 2010. Disponível em: [www.researchandmarkets.com/reports/](http://www.researchandmarkets.com/reports/). Acesso em 31 out. 2012.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Sorption isotherms of encapsulated unripe West Indian cherry (*Malpighia glabra* L) juice. In: **ISOPOW, 2000**– International Symposium on the properties of water, 8th. Zichron Yaakov, 2000, 98p.

ROBERFROID, M. B. Functional food concept and its application to prebiotics. **Digestive and Liver Disease**, v. 34, n. 2, p.105 - 110, 2002.

ROCHA, A. P. T.; ALSINAI, O. L. S; SILVA, V. S.; SILVA, F. L. H. Cinética de produção de levedura seca em leito de jorro. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.12, n.1, 2008.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: Uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas, SP: Casado Pão Editora, 2005. 326 p.

RODRIGUES, S. **Estudo da Síntese Enzimática de Dextrana na Presença de Maltose como aceptor**. Faculdade de Engenharia de Química, Universidade Estadual de Campinas, 250p. Tese (Doutorado), 2003.

RODRIGUES, S; LONA, L. M. F.; FRANCO, T.T. Optimizing panose production by modeling and simulation using factorial design and surface response analysis. **J Food Eng** v. 75, p. 433-440, 2006.

ROUSTAPOUR, O. R.; HOSSEINALIPOUR, M.; GHOBADIAN, B.; MOHAGHEGH, F.; AZAD, N. M. A proposed numerical-experimental method for drying kinetics in a spray dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 20-26, 2009.

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

SAHER, M.; ARVOLA, A.; LINDEMAN, M.; LAHTEENMAKI, L. Impressions of functional food consumers. **Appetite**, v. 42, p. 79–89, 2004.

SANTOS, D. A.; JÚNIOR, I. P.; DUARTE, C. R. Estudo da Estabilidade Fluidodinâmica do Leite de Jorro Através da Fluidodinâmica Computacional. In: **IX Encontro Interno e XIII Seminário de Iniciação Científica**, Uberlândia, 2010.

SILALAI, N.; ROOS, Y. H. Mechanical  $\alpha$ -relaxations and stickiness of milk solids/maltodextrin systems around glass transition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. online, p. 1-8, 2011.

SILVA, I. M.; RABELO, M. C.; RODRIGUES, S. Cashew juice containing prebiotic oligosaccharides. **Journal of Food Science and Technology**, in press, DOI 10.1007/s13197-012-0689-9, 2012.

SILVA, L. P.; NÖRNBERG, J. L. **Prebióticos na nutrição de não ruminantes. Ciência Rural**, v.33, n.5, p.983-990, 2003.

SOARES, E. C.; **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*eugenia stipitata mc vaugh*) em leite de espuma**. Bahia, 2009. 89 p. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2009.

SOUZA, C. R. F. **Produção de extratos secos padronizados de plantas medicinais brasileiras: estudo da viabilidade técnica e econômica do processo em leite de jorro**.

Ribeirão Preto, 2007. 219 p. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, 2007.

SOUZA, J. S. **Secagem de Misturas de Polpa de Frutas Tropicais em Leito de Jorro**. 2009. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. H.; MAIA, G. A. **Componentes funcionais nos alimentos**. Boletim da SBCTA.v. 37, n. 2, p. 127-135, 2003.

STEFE, C. A.; ALVES, M. A. R.; RIBEIRO, R. L. Probióticos, prebióticos e simbióticos: Artigo de revisão. **Saúde e Ambiente em Revista**, v. 3, n. 1, p. 16-33, 2008.

STRUMILLO, C.; MARKOWSKI, A.; KAMINSKI, W. Modern developments in drying os patelike materials. In MUJUNDAR, A.S *Advances in Drying*, McGraw Hill, Washington, v. 2, p. 193-231, 1983.

TAN, L. W.; IBRAHIM, M. N.; KAMIL, R; TAIP, F. S. Empirical modeling for spray drying process of sticky and non-sticky products. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 690-697, 2011.

THAMER, K. G.; PENNA, A. L. B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescidas de prebiótico. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.26, n.3, p.589-595, 2006.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009.

TORRES, E. A. F. S. **Alimentos em questão: uma abordagem técnica para as dúvidas mais comuns**.1 ed. São Paulo: Ponto Crítico, 2001. 160 p.

TRINDADE, A. L. G. **Nova Técnica de Concentração do Licor Negro para Produção do Combustível Sólido**. 2004. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola de Engenharia da UFMG. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Química. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG, 2004.

VERDURMEN, R. E. M.; VAN HOUWELINGEN, G.; GUNSING, M.; VERSCHUEREN, M.; STRAATSMA, J. Agglomeration in spray drying installations (the edecad project): Stickiness measurements and simulation results. **Drying Technology**, v. 24, n. 6, p. 721-726,2006.

VERGARA, C. M. A.; HONORATO, T. L.; MAIGA, G. A.; RODRIGUES, S. Prebiotic effect of fermented cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) juice. **Food of Science and Technology**,v. 43, p. 141–145, 2010.