

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

# Processo de esterilização comercial de água-de-coco verde por membranas cerâmicas

**ANDRÉA DE LUCENA LIRA**

CAMPINA GRANDE – PB

2010

**ANDRÉA DE LUCENA LIRA**

**Processo de esterilização comercial de água-de-coco verde  
por membranas cerâmicas**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Federal de Campina  
Grande para obtenção do título de Doutor em  
Engenharia de Processos.

Área de Concentração: Desenvolvimento de processos.

Orientadores: Prof. Kepler Borges França (Ph.D) e Prof. Hélio de Lucena Lira (Ph.D)

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2010**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo da Publicação

S586d Lira, Andréa de Lucena  
Processo de esterilização comercial de água-de-coco verde por membranas cerâmica/Andréa de Lucena Lira – Campina Grande, 2010.  
109f. il.

Referências.  
Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.  
Orientador: Kepler Borges de França e Hélio de Lucena Lira.

1 – Membranas cerâmicas 2 – Água-de-coco 3 – Microfiltração I – Título

CDU 666.3

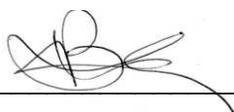
Nome: LIRA, Andréa de Lucena

Título: Processo de esterilização comercial de água-de-coco verde por membranas cerâmicas.

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Processos.

Aprovado em: 06 de maio de 2010

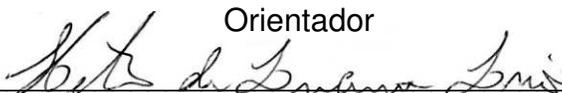
**Banca Examinadora**



---

Prof. Kepler Borges França (Ph.D)

Orientador



---

Prof. Hélio de Lucena Lira (Ph.D)

Orientador



---

Dra. Tânia Lúcia Leal

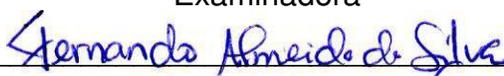
Examinadora



---

Profª Drª Lisiane Navarro de Lima Santana

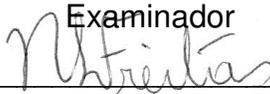
Examinadora



---

Dr. Fernando Almeida da Silva

Examinador



---

Drª Normanda Lino de Freitas

Examinador



---

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Examinador

## DEDICATÓRIA

Á minha família, à minha mãe por entender e aceitar muitas vezes a minha ausência para cumprir mais este objetivo, em especial ao meu pai, Gregório Alves de Lira (*in memória*), que sempre incentivou seus filhos a alcançar vãos mais altos, baseados na educação e na dignidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia de Processos, aos professores do curso e todos os funcionários que contribuíram para o bom andamento do programa;

Ao Prof. Kepler Borges de França (Ph.D) e Prof. Hélio de Lucena Lira (Ph.D), que aceitaram o desafio de me orientar, me indicando caminhos, me proporcionando conhecimentos e experiências que contribuíram para o êxito deste trabalho;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB – Campus Sousa, que permitiu a execução deste trabalho;

Aos meus irmãos, pelo incentivo e troca de experiências;

À todos os familiares e amigos que me deram força e contribuição;

Aos colegas do IFPB-Sousa, pela compreensão nos momentos de ausência do trabalho e por todo apoio que me dispensaram;

A todos os amigos da Pós-graduação, em especial a Fernando, pela ajuda e pelos bons momentos de convivência e aprendizado;

Obrigado e sucesso a todos e a todas.

## EPÍGRAFE

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso... Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los... Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.

***Dalai Lama***

## RESUMO

O albúmen líquido do fruto do coqueiro, popularmente conhecido como água-de-coco é definido como uma solução isotônica natural, ácida e de baixo valor calórico, com qualidades terapêuticas e nutricionais surpreendentes. A água-de-coco pode ser consumida tanto no fruto quanto processada, sendo que a aplicação de técnicas convencionais de conservação à água-de-coco garante a saúde do consumidor, viabiliza o comércio deste produto e otimiza o aproveitamento da fruta, porém podem modificar as características originais do produto. O processo de microfiltração com membranas cerâmicas surge como uma alternativa na estabilização microbiológica da água-de-coco, permitindo a obtenção de um produto com as mesmas características originais e com a vida útil prolongada. Desta forma este trabalho teve como objetivo principal avaliar o processo de clarificação e esterilização comercial de água-de-coco através do uso de membranas cerâmicas de microfiltração e ultrafiltração, determinando desde o melhor período de colheita do coco para extração da água-de-coco verde até a avaliação do funcionamento do sistema e comparação de uso de várias membranas, assim como a manutenção das características originais do produto. Foi possível então concluir que a microfiltração com algumas membranas cerâmicas apresenta-se como uma alternativa eficiente na obtenção de água-de-coco verde comercialmente estéril e com o mínimo de alterações em suas características físico-químicas.

**Palavras chaves:** Água-de-coco, membrana, microfiltração, análises microbiológicas, análises físico-químicas.

## ABSTRACT

The liquid albumen from the unripe coconut fruits of the tropical palm, popularly known as coconut water is defined as a natural isotonic solution, acid and with low calorific value, with excellent therapeutic and nutritional qualities. Coconut water can be consumed “in nature” or in processed way. The uses of conventional techniques of coconut water conservation ensure consumer health, make possible the commercialization of this product and optimize the use of this fruit, but these techniques can modify the original characteristics of the product. The microfiltration process with ceramic membranes comes out as an alternative in the microbiological stabilization of the coconut water, producing an item for consumption with original characteristics and with prolonged shelf life. In this way, the aim of this work is to evaluate the process of clarification and commercial sterilization of coconut water by using microfiltration and ultrafiltration ceramic membranes. It was studied the best period of harvest for the green coconut water extraction. It was possible to conclude that the microfiltration with some ceramic membranes present good results to obtain commercially sterilized green coconut water and with a minimum of modifications in their physical and chemical characteristics.

**Key words:** coconut water, membrane, microfiltration, microbiological analysis, physicochemical analysis.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Produção mundial de coco .....	7
Figura 2 – Evolução da produção de coco e da área colhida de 1999 a 2009 .....	8
Figura 3 – Fluxos e canais de comercialização do coco no Brasil (CUENCA, 2007).....	11
Figura 4 - Coqueiro anão verde (plantio do IFPB – 2009).....	14
Figura 5 – Foto de coqueiro, IFPB – Campus Sousa, 2009 .....	15
Figura 6 – Fruto do coqueiro. Fonte: ARAGÃO et al., 1998 .....	16
Figura 7 – Detalhe de um coqueiro anão verde (Plantio IFPB - Sousa).....	18
Figura 8 – Detalhe do transporte de cocos verdes do campo para a unidade fabril Fonte: ARAGÃO et al., 2002 .....	24
Figura 9 – Fluxograma das etapas envolvidas nos processos de conservação da água-de-coco. Adaptado de Abreu (1999) .....	26
Figura 10 – Tamanhos de vários microrganismos (PORTER, 1990) .....	36
Figura 11 – Fluxo cruzado durante a permeação em membrana tubular (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997) .....	47
Figura 12 – Características dos processos com membranas (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997) .....	49

Figura 13 – Esquema dos modos de operação e curvas de fluxo (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997).....	52
Figura 14(a) – Laboratório de análise de alimentos .....	59
Figura 14(b) – Coqueiral do IFPB – Campus Sousa .....	59
Figura 15 – Inflorescência e frutos do coqueiro (IFPB-Sousa).....	60
Figura 16 – Imagem das membranas utilizadas no experimento .....	61
Figura 17(a) – Amostras de coco utilizadas neste estudo.....	63
Figura 17(b) – Amostras de coco antes e após processamento (envasada e refrigerada) utilizado neste estudo .....	63
Figura 18 – Tratamentos de higienização testados nos cocos.....	65
Figura 19 – Fluxograma do procedimento experimental .....	66
Figura 20 - Esquema do sistema aplicado em escala de laboratório para o processo de microfiltração da água-de-coco. Fonte: SILVA, 2006.....	67
Figura 21 – Sistema de microfiltração montado em nível laboratorial .....	68
Figura 22 – Fluxograma geral do preparo das análises microbiológicas realizadas	71
Figura 23 – Esquema da contagem de bactérias mesófilas.....	71
Figura 24 – Esquema da contagem de bolores e leveduras .....	72

Figura 25 – Esquema da detecção de salmonella.....	73
Figura 26 – Esquema da determinação do Número Mais Provável de Coliformes	74
Figura 27 – Variação do peso de água e das dimensões do coco no ano .....	77
Figura 28 – Variação do pH, brix e acidez da água-de-coco no ano.....	78
Figura 29 - Fluxo em função do tempo no emprego de água destilada .....	92
Figura 30 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde na pressão de 3kgf/cm <sup>2</sup> .....	93
Figura 31 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde com variação de pressão de 3 para 8 kgf/cm <sup>2</sup> .....	95
Figura 32 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde na pressão de 8kgf/cm <sup>2</sup> .....	96

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Caracterização físico-química da água-de-coco anão verde com sete meses de idade, adaptado de Rosa e Abreu (2000) .....	20
Tabela 2 – Ensaio de microfiltração com diferentes membranas e pressões.....	62
Tabela 3 – Diâmetro médio dos poros e porosidade por tipo de membranas .....	69
Tabela 4 – Acompanhamento do estágio de maturação da água do coco verde anão .....	76
Tabela 5 – Resultados das análises microbiológicas da higienização dos cocos .	80
Tabela 6 – Resultados das análises físico-químicas da água-de-coco verde antes e após processamento .....	82
Tabela 7 – Análises microbiológicas da água-de-coco processada e “in natura”, com cinco dias de armazenamento sob refrigeração a 5°C .....	86
Tabela 8 – Análises microbiológicas da água-de-coco processada e “in natura”, com 10 meses de armazenamento sob refrigeração a 5°C.....	90
Tabela 9 – Fluxos médios constantes com água destilada para cada membrana	92
Tabela 10 - Resumo geral dos fluxos permeados da água destilada e da água-de-coco.....	97

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 – Exemplos de aplicação de processos com membranas, (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997) .....	39
Quadro 2 – Características dos processos de separação por membranas comerciais, (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997) .....	42
Quadro 3 – Tamanhos relativos de pequenas partículas e processos de separação, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001) .....	50

## Lista de abreviaturas e siglas

Abrascoco	Associação Brasileira de Produtores de Coco
Amacoco	Água-de-coco da Amazônia Ltda.
APHA	American Public Health Association
atm	Atmosfera
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CLBVB	Caldo Lactose Bile Verde Brilhante
CLST	Caldo Lauril Sulfato Triptose
COOPASE	Cooperativa Agropecuária de São Gonçalo
Dema	Departamento de Engenharia de Materiais
EC	<i>Escherichia coli</i>
FAO	Food and Agriculture Organization
fm	Fentometro
GCV	Grupo de Coco do Vale
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
kD	KiloDalton
kg	Quilograma
LABDES	Laboratório de Referência em Dessalinização
m	Metro
MF	Microfiltração
mL	Mililitros
nm	Nanômetro
NMP	Número mais provável
PCA	Plate Count Agar
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Peso molecular
SC	Selenito Cistina
TT	Tetrationato
UF	Ultrafiltração
UFC	Unidade formadora de colônia
UFCCG	Universidade Federal de Campina Grande
V	Volume
$\Delta P$	Diferença de pressão
$\Delta t$	Diferença de tempo
$\mu\text{m}$	micrômetro

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos .....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1. Definição e mercado da água-de-coco.....	4
3.2. Matéria-prima: coqueiro.....	13
3.2.1. Caracterização botânica.....	13
3.2.2. O fruto .....	16
3.2.3. Principais tipos de coqueiro.....	17
3.2.4. Água-de-coco .....	19
3.2.4.1. Açúcares .....	21
3.2.4.2. Minerais.....	22
3.2.4.3. Proteína.....	22
3.2.5. Emprego da água-de-coco .....	22
3.2.6. Colheita do coco.....	23
3.3. Métodos de conservação da água-de-coco.....	25
3.4. Microbiota da água-de-coco verde .....	29
3.5. Estudos sobre membranas.....	37
3.5.1. Membranas cerâmicas .....	44
3.5.2. Processos de separação com membranas .....	47

3.5.3. Microfiltração .....	53
3.5.4. Aplicações da microfiltração .....	54
3.5.4.1. Esterilização .....	54
3.5.4.2. Clarificação.....	54
3.5.4.3. Purificação de águas .....	55
3.5.4.4. Substituição do uso de terras diatomáceas.....	55
3.5.5. Limpeza de membranas .....	55
3.6. Considerações gerais.....	57
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1. Local da pesquisa .....	59
4.2. Material em análise .....	59
4.2.1. Cocos .....	59
4.2.2. Membranas .....	60
4.3. Amostragens .....	63
4.4. Armazenamento .....	66
4.5. Ensaio de microfiltração .....	66
4.6. Caracterização das membranas utilizadas.....	68
4.7. Análises.....	70
4.7.1. Análises do processo em geral .....	70
4.7.2. Análises microbiológicas .....	70
4.7.2.1. Preparo das amostras .....	70
4.7.2.2. Contagem total de aeróbios mesófilos .....	71
4.7.2.3. Contagem de bolores e leveduras.....	72

4.7.2.4. Detecção de salmonella .....	72
4.7.2.5. Determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais.....	73
4.7.3. Análises físico-químicas .....	74
4.7.3.1. Potencial hidrogeniônico (pH) .....	74
4.7.3.2. Sólidos solúveis (°Brix).....	74
4.7.3.3. Açúcares redutores, em glicose e açúcares não-redutores, em sacarose	75
4.7.3.4. Acidez.....	75
4.7.3.5. Proteínas .....	75
4.8. Limpeza da membrana após uso com água-de-coco.....	75
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.1. Determinação do ponto de colheita do coco para extração da água .....	76
5.2. Análise dos tratamentos de higienização do coco para processo de extração da água .....	79
5.3. Análise das características físico-químicas da água-de-coco .....	81
5.4. Análise da carga microbiana antes e após a microfiltração.....	85
5.5. Análise de produto final estocado por 10 meses.....	89
5.6. Análise do fluxo do processo de microfiltração .....	91
6. CONCLUSÕES .....	99
7. SUGESTÕES.....	101
8. REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICES.....	113
ANEXOS .....	117

## PUBLICAÇÕES

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; FRANÇA, K. B.; FERREIRA NETO, J. Processo de Esterilização comercial da água-de-coco verde (*Cocos nucifera*) por microfiltração com membranas cerâmicas. Parte I: Avaliação de possíveis alterações físico-químicas pós-processo. 8º Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, Campinas – SP, novembro de 2009.

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; FRANÇA, K. B.; FERREIRA NETO, J. Avaliação de diferentes métodos de higienização de cocos verdes (*Cocos nucifera*) na extração da água para consumo humano. 8º Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, Campinas – SP, novembro de 2009.

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; LIRA, H. L. Análise físico-química e microbiológica da água-de-coco verde (*Cocos nucifera*) comercializada na cidade de João Pessoa-PB. XV Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos, Fortaleza – CE, junho de 2007.

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; LIRA, H. L. Processamento da água-de-coco verde (cocos nucifera) por microfiltração com membrana cerâmica. Parte II: Avaliação de possíveis alterações físico-químicas pós-processo. XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Curitiba – PR, outubro de 2006.

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; LIRA, H. L. Processamento da água-de-coco verde (cocos nucifera) por microfiltração com membrana cerâmica. Parte III: Análise de fluxo do

permeado com variação de pressão de alimentação. XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Curitiba – PR, outubro de 2006.

LIRA, A. L.; LIRA, H. L.; TRAVASSOS, A. E. R. Avaliação bacteriológica da água-de-coco e a utilização de membranas cerâmicas como meio de retenção de microrganismos. XIX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Recife – PE, setembro de 2004.

## 1. INTRODUÇÃO

Até pouco tempo, os alimentos eram produzidos de maneira empírica, com práticas rudimentares, sendo boa parte deles consumidos “in natura”. Com a transformação constante da sociedade e a necessidade cada vez maior de alimentos prontos e saudáveis, assim como as mudanças nos hábitos de consumo, técnicas começaram a ser desenvolvidas, tanto para a produção como para a industrialização dos alimentos.

Os processos de separação e a utilização de membranas têm encontrado um campo muito vasto de aplicações, tanto nas indústrias químicas e farmacêuticas, como nas indústrias agroalimentares: desde a simples obtenção da água potável a partir da água do mar, até o fracionamento, concentração e purificação de soluções moleculares. Tentando popularizar este processo na região Nordeste do Brasil, iniciou-se então a pesquisa do emprego do processo de microfiltração em produtos regionais.

Existe uma ampla variedade de frutas tropicais, mas somente um pequeno número dessas frutas é cultivado e processado em larga escala. Isto se deve, principalmente, à falta de infra-estrutura e ao baixo nível de conhecimento técnico.

Considerando que o processamento em escala industrial requer, entre outras condições, produtividade com baixo custo e melhoria da qualidade do produto final, a microfiltração com membrana cerâmica apresenta-se como uma tecnologia relativamente nova e potencialmente eficiente na obtenção de produtos de fruta, tendo em vista que ela apresenta uma série de vantagens, como: economia de energia, seletividade, separação de termolábeis e simplicidade de operação.

Sabendo-se que a água-de-coco é uma solução naturalmente rica em sais minerais, açúcares, vitaminas e proteínas, sugere-se aqui um estudo da utilização de membranas microfiltrantes com o intuito de reter a flora microbiana contaminante, que ao encontrar um meio tão rico e propício ao seu crescimento, deteriora o alimento rapidamente.

Visando contribuir com a pesquisa tecnológica nesta área de concentração, o presente trabalho teve como objetivo, estudar o processo de microfiltração da água-de-coco verde por membranas cerâmicas. Para realização do processo utilizou-se como matéria-prima membranas de alumina e cordierita confeccionadas em laboratório pelo grupo de membranas cerâmicas do LABDES/DEMA/CCT/UFCG, com poros de tamanho em torno de 0,8; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0  $\mu\text{m}$ , membranas comerciais importadas e cocos oriundos da região do sertão paraibano, no município de Sousa-PB. Além de não se encontrar muitas referências quanto ao processo de microfiltração da água-de-coco verde, a grande diferença entre este trabalho e os encontrados na revisão bibliográfica se deve ao uso de membranas cerâmicas de diversas matérias-primas, e não de membranas poliméricas, com diversos tamanhos de poros e o direcionamento de um estudo inovador a uma região carente de pesquisas e avanços tecnológicos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar o processo de clarificação e esterilização comercial de água-de-coco através do uso de membranas cerâmicas de microfiltração e ultrafiltração.

### 2.2 Específicos

- Determinar o melhor período de colheita do coco para extração da água-de-coco verde;
- Determinar as características físico-químicas e microbiológicas da água-de-coco “in natura” (no próprio fruto);
- Determinar as características físico-químicas e microbiológicas da água-de-coco verde após o processo de microfiltração com membranas cerâmicas;
- Avaliar a possibilidade de retenção das enzimas, peroxidase e polifenoloxidase, no uso de membranas de ultrafiltração da água-de-coco verde;
- Avaliar o funcionamento do sistema no processo de microfiltração de água-de-coco verde;
- Avaliar membranas cerâmicas com diferentes tamanhos de poros na esterilização comercial de água-de-coco.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Definição e mercado da água-de-coco

O coqueiro ou coco-da-baía (*Cocus nucifera*) é uma cultura típica da região litorânea do Nordeste. Até a década de 80, essa exploração era feita para fornecimento às agroindústrias – que produzem o coco ralado e leite de coco - e secundariamente para atender à demanda por água-de-coco.

Existem, atualmente, no Nordeste três variedades de coqueiro, exploradas com finalidades distintas, a saber:

- Coqueiro gigante, cuja finalidade principal é o fornecimento de polpa para a agroindústria dos derivados de coco (coco ralado e leite de coco), apenas 15% do mercado de água-de-coco é suprido pelos plantios de coqueiro gigante;
- Coqueiro híbrido - com a dupla finalidade do fornecimento de coco para a indústria e para água, mas com participação ainda pouco expressiva na produção;
- Coqueiro anão, cuja utilização principal é o atendimento ao consumo de água-de-coco (“in natura” ou envasada);

A exploração de coqueiro que mais tem crescido no Brasil é a de coqueiro anão para a produção de água-de-coco, especialmente sob o regime de irrigação. A cultura do coqueiro anão irrigado, que pode produzir o ano todo, e a expansão da industrialização (que, além da agregação de valor, aumenta o tempo de vida de prateleira da água-de-coco), tenderão a regularizar a oferta, reduzindo significativamente a amplitude da sazonalidade da produção e dos preços. Apesar de se tratarem, de fato, de duas culturas bastante distintas – a produção de coco para o fornecimento de polpa ou para o fornecimento de água-de-coco, pelas especificidades dos seus mercados - as estatísticas oficiais do país ainda não retratam essa realidade, referindo-se genericamente à área e

produção do coco-da-baía. Essa deficiência reduz a utilidade desses dados como subsídios à formulação de estratégias mercadológicas. A discriminação das informações, entre produção do coco gigante e coco anão só é feita pelos agentes diretamente interessados nessas duas cadeias produtivas, sejam elas cooperativas ou associações, o que leva a muitas inconsistências nos dados reais. Em 2000 a área plantada com coco-da-baía demarcada pelo IBGE era de mais de 266 mil ha, porém de acordo com os dados apresentados pelo Grupo de Coco do Vale (GCV- Entidade que representa cerca de 60 produtores de coco do Vale do São Francisco) no IV Seminário Técnico Empresarial dos Agrotécnicos em Agricultura Irrigada do Nordeste (Petrolina-PE, jun/2000), a situação do plantio de coqueiro anão era de 57000 ha plantados em todo território nacional e com apenas 22% desta área em plena produção. No mesmo evento, a Embrapa-Agroindustrial Tropical estimou a área plantada no Nordeste entre 50000 a 60000 ha e com 10 a 15 mil em produção. Desta forma não se tem acesso a dados muito concretos. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Coco (ABRASCOCO), os plantios no país são formados por 70% de coqueiros gigantes, 20% de anão e 10% de coqueiros híbridos (ARAGÃO, 2004). Em Sousa-PB, localidade deste estudo, de acordo com a cooperativa agropecuária de São Gonçalo, são mais de 1200ha plantados produzindo mais de 26 milhões de frutos/ano.

Observa-se um aumento do consumo da “água-de-coco” devido ao crescimento de um segmento de mercado constituído por pessoas preocupadas em consumir alimentos frescos e naturais em função dos benefícios proporcionados à saúde, assim como, ao atendimento de um padrão estético.

A partir deste cenário, observa-se uma rápida expansão das áreas plantadas com coco, ocupando, inclusive, regiões não tradicionais de cultivo, como ocorreu no Sudeste do país onde atualmente se concentra a maior produção de coco cultivada em sistemas

intensivos de exploração com irrigação localizada (CUENCA, 2003). Considerando-se que, no Brasil, a área plantada com coco evoluiu de 166740 ha (IBGE, 1987) para 280382ha (IBGE, 2003), e apesar da queda da área plantada até 2009 para 275604ha, estima-se que mais de 80% deste total foi plantado com a variedade Anã, o que corresponderia a uma área superior a 80000 ha, grande parte da qual, se localiza na Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais abastecendo a maior região consumidora de água-de-coco do país, o sudeste. O aumento expressivo da área plantada, associada à localização estratégica destes plantios em relação aos maiores centros consumidores, provocou uma queda acentuada dos preços, com reflexos negativos, principalmente, para os produtores da região Nordeste.

Como visto, a associação do coco verde com a região das praias nordestinas perdeu o sentido, uma vez que o coco está sendo produzido em outras regiões com vantagens comparativas em função da maior proximidade dos principais mercados consumidores, com a redução dos custos de transporte e, conseqüentemente, melhoria da qualidade do coco ofertado pelo fato dos frutos serem colhidos no mesmo dia. Na própria região Nordeste o coco está sendo produzido em áreas não tradicionais, como o Semiárido. Isso mostra que, continuamente, há um reordenamento da ocupação do espaço e da utilização dos recursos naturais em atendimento a novas demandas.

Tudo isso gerou uma mudança de cenário para os diferentes atores, com implicações em toda a cadeia produtiva e, conseqüentemente, nas estratégias utilizadas para sobreviver num mercado altamente competitivo em que as diferenças entre pequenos e grandes produtores de coco se intensificam. Assim, apesar da região Nordeste acumular maior tradição na exploração desta cultura (conhecimento, experiência) e apresentar melhores condições de clima e solo, não consegue realizar o escoamento adequado de sua produção em razão dos baixos preços de mercado, muitas vezes, insuficientes para

remunerar os seus custos de produção.

Atualmente, a água-de-coco verde consiste em um grande ramo de comercialização de cocos da variedade anã verde, com acessos notadamente a mercados distantes dos centros produtores. Principalmente, a países da comunidade Européia e Asiática.

A cultura do coqueiro é uma atividade agrícola que tem grande importância em mais de 86 países, seja na geração de emprego, renda ou alimentação para a população. O Brasil é o quarto maior produtor de coco do mundo participando com 3033830 toneladas de frutos numa área colhida de cerca de 280860 ha, perdendo apenas para a Indonésia com produção de 16,3 milhões de toneladas de frutos, Filipinas com 14,8 milhões e Índia com 9,5 milhões de toneladas de frutos, conforme pode ser visto na Figura 1 a participação dos principais produtores de coco a nível mundial (FAO, 2007).

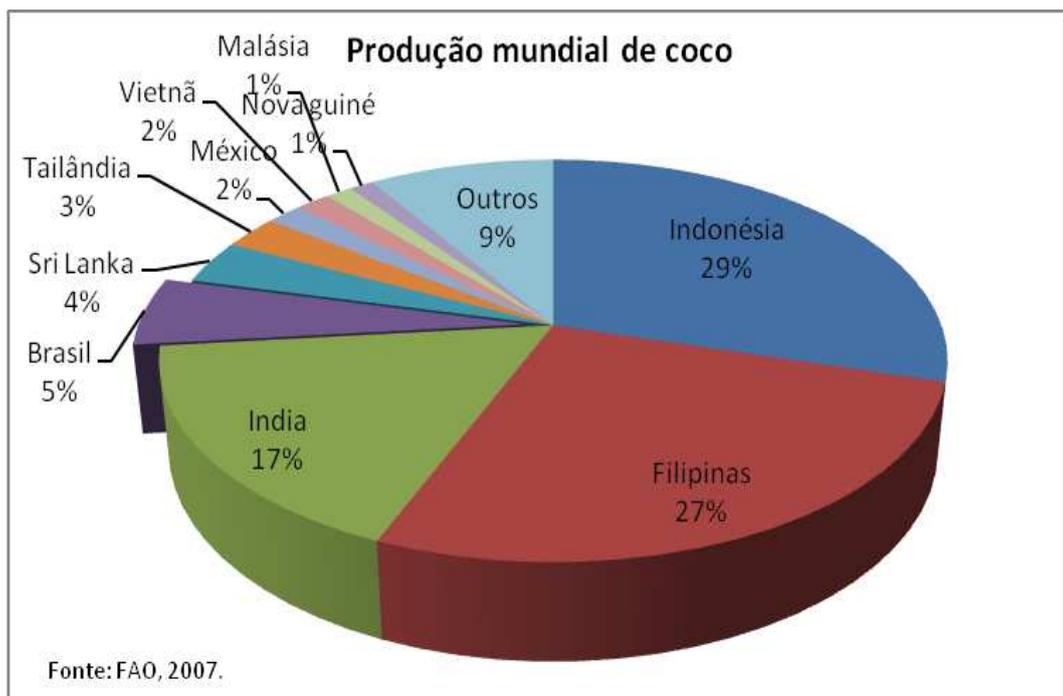


Figura 1 – Produção mundial de coco

No Brasil, a produção e a área colhida de coco, apresentaram crescimento na última

década. Em 1999 a produção de coco foi de 1,2 bilhão de frutos em uma área colhida de 250 mil ha, enquanto, em 2009 a produção foi cerca de 1,7 bilhão de frutos em uma área colhida de 266 mil hectares. A evolução da produção e da área colhida com coco no Brasil, no período de 1999 a 2009, pode ser observada na Figura 2.

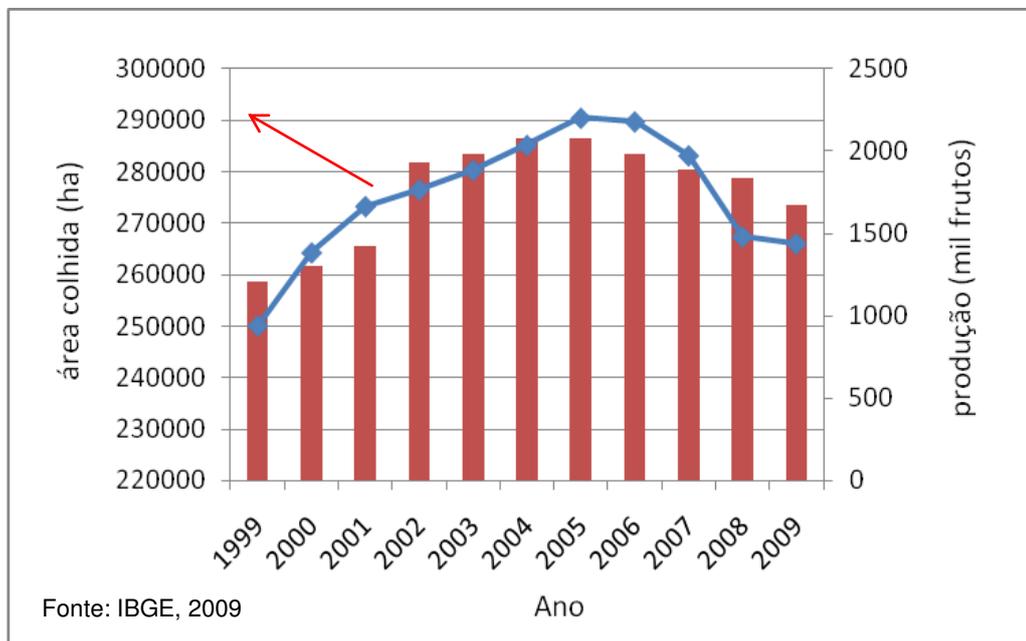


Figura 2 – Evolução da produção de coco e da área colhida de 1999 a 2009.

Entre os anos de 2002 e 2006 a produção se manteve estável, porém, houve variação da área colhida. A produtividade brasileira, em 2009, foi de 6299 frutos/ha, considerada baixa, quando comparada com os estados com maior rendimento como, por exemplo, Rio de Janeiro com 16192 frutos/ha, Espírito Santo e Minas Gerais com produtividades acima dos 14 mil frutos/ha. As produtividades observadas nos estados do RJ, ES e MG são justificadas pelo maior nível tecnológico de manejo, como por exemplo, adubação, irrigação e controle fitossanitário. Bahia é o maior produtor nacional de coco contribuindo com 472 milhões de frutos, porém tem produtividade de 5821 frutos/ha equiparando a produtividade da Paraíba de 5518 frutos/ha. Logo, a Bahia se torna o maior produtor nacional por ter a maior área plantada com coco. Nesse contexto a Paraíba se torna o 8º

maior produtor de coco do país com a produção de mais de 63 milhões de frutos em 2009. Segundo dados do IBGE, Sousa é o maior produtor de coco do estado da Paraíba, contribuindo com mais de 26 milhões de unidades de frutos em 2009, num total de 1315ha de área plantada, seguido de Lucena com cerca de 8 milhões de frutos, numa área de 1500ha. De acordo com a Cooperativa de agropecuária de São Gonçalo, a cultura do coco movimenta anualmente no Município de Sousa cerca de R\$ 13 milhões, empregando centenas de pessoas direta e indiretamente. Desta produção, aproximados 35% destinam-se às indústrias que processam o coco seco, grande parte para empresas de Sousa e do estado do Ceará. O restante é comercializado no mercado interno. Uma produção ainda pequena considerando que esta quantidade representa, aproximados 2% da produção nacional, colocando Sousa na 15ª posição entre os produtores de coco, segundo dados do IBGE.

O coco é a terceira fruta mais cultivada no país, depois da laranja e da banana. Mas o consumo per capita da água-de-coco ainda é muito pequeno. O volume médio anual consumido pelo brasileiro (130mL) se iguala ao do uísque, segundo pesquisa divulgada pela Amacoco, maior produtora nacional da água-de-coco esterilizada. Segundo estimativas da Associação Brasileira de Coco (Abrascoco), o consumo da água-de-coco em 2003 no Brasil era de 140 milhões de litros/ano, havendo perspectivas de aumento no consumo para 500 milhões de litros/ano. Apesar desse grande consumo, representa apenas 1,4% do consumo anual de refrigerantes no país (FOLHA ONLINE, 2004).

A água-de-coco é uma solução isotônica natural, ácida, estéril, e de baixo valor calórico. Contém sais minerais, açúcares, vitaminas e proteínas, além de ser um produto renovável (ROSA e ABREU, 2000).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Instrução Normativa nº 27 de 22 de julho de 2009 aprovou o regulamento técnico para a fixação do padrão de

qualidade e identidade da água-de-coco. Definindo-a como bebida obtida da parte líquida do fruto de coqueiro (*Cocos nucifera L.*), por meio de processo tecnológico adequado não diluído e não fermentado:

- Água-de-coco “in natura” – não pode ser submetida a nenhum processo físico ou químico e que se destine para consumo imediato (logo após a extração).
- Água-de-coco resfriada – que tenha sido submetida a um processo de pasteurização e resfriamento, com temperatura máxima de 10°C.
- Água-de-coco congelada – que tenha sido submetida a um processo de congelamento, podendo ou não ser pasteurizado, temperatura de no mínimo – 10 °C.
- Água-de-coco esterilizada – tenha sido submetida a um processo de esterilização “comercial”, pode ser comercializada a temperatura ambiente.
- Água-de-coco concentrada - que tenha sido submetida a um processo de concentração, onde o teor de sólidos solúveis seja igual ou superior ao dobro da sua concentração natural.
- Água-de-coco desidratada - que tenha sido submetida a um processo de desidratação, cujo teor de umidade seja igual ou inferior a 3% (COSTA et al, 2005).

Todas as águas comercializadas devem possuir características sensoriais de aspecto, cor, odor característicos, e estarem dentro dos parâmetros físico-químicos com acidez fixa em ácido cítrico (g/100mL), pH com mínimo de 4,3 e sólidos solúveis (em °Brix a 20°C) com o máximo de 7,0 (COSTA et al, 2005).

A água-de-coco verde pode ser consumida tanto no fruto quanto processada, sendo que sua vida útil dependerá dos métodos de conservação aplicados. Tais métodos visam inibir a ação enzimática e garantir a estabilidade microbiológica da água-de-coco após a abertura do fruto, mantendo o quanto possível suas características originais.

Tradicionalmente, a água-de-coco é comercializada dentro do próprio fruto, prática

que envolve problemas relacionados a transporte, armazenamento e perecibilidade do produto. A fim de permitir o seu consumo em locais fora das regiões produtoras, é de fundamental importância a sua industrialização, visando diminuir o volume e o peso transportados e, conseqüentemente, reduzir os custos de transporte, bem como aumentar a sua vida de prateleira.

Um caminhão com capacidade para 18T transporta aproximadamente 18.000 cocos secos ou 6.500 frutos verdes. Além do custo do transporte, o deslocamento do produto a grandes distâncias gera problemas, referentes ao acondicionamento da carga, a qual, conduzida a granel, é envolvida por uma lona que aumenta a temperatura nas horas mais quentes do dia, provocando rachaduras nos frutos (CUENCA, 2007).

Segundo CUENCA (2007), o processo de comercialização do coco in natura, seco ou verde, no Nordeste compreende os canais e fluxos da produção mostrados na Figura 3:

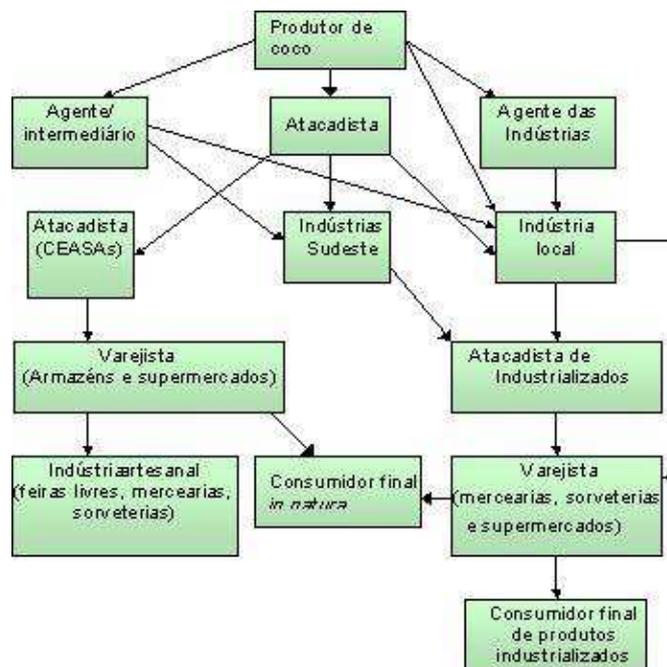


Figura 3 - Fluxos e canais de comercialização do coco no Brasil (CUENCA, 2007)

O primeiro compreende o coco que é vendido diretamente às indústrias de processamento ou pelos próprios agentes, excluindo-se a participação dos intermediários

externos. Atuam nesse fluxo os grandes e alguns médios proprietários. Pequenos produtores, quando organizados em cooperativas ou associações, poderiam facilmente vir a participar desse fluxo, apropriando-se de maiores lucros proporcionados pela cadeia produtiva do coco. O segundo fluxo inclui quatro agentes econômicos: produtores, pequenos intermediários (agente), grandes intermediários e indústrias. O terceiro fluxo é uma variação do segundo, pois na ausência do grande intermediário, é o atacadista quem o substitui na canalização do produto para a indústria.

No processo de comercialização, as maiores margens de lucro ficam na intermediação, pois existe uma diferença muito grande entre os preços pagos aos produtores e os preços que são cobrados aos consumidores. Devido à lucratividade e margens obtidas na comercialização, alguns produtores médios e grandes, atuam também como intermediários, comprando e concentrando consideráveis quantidades de coco seco, para posterior revenda a outros intermediários ou diretamente à indústria. Os pequenos atacadistas localizam-se na sede dos municípios produtores e transportam o coco em pequenos caminhões, ao passo que, os grandes atacadistas concentram grandes volumes e se localizam nos grandes centros urbanos, além de possuírem um maior grau de informação a respeito dos preços e da demanda do produto nos principais centros consumidores do país.

A criação das Ceasas, objetivando melhorar a estrutura de comercialização de produtos hortifrutigranjeiros no País e diminuir o número de intermediários nesse processo, não foi capaz de eliminar a forte presença dos mesmos no comércio de coco. Isto se deve ao fato de que as centrais de abastecimento vêm desempenhando, ao longo dos anos, nas principais capitais, apenas uma função centralizadora da produção, chegando em alguns casos a favorecer a ação dos intermediários. Segundo pesquisa

realizada junto a vendedores de coco, no varejo, constatou-se que as perdas na comercialização chegam a 8% do total de frutos comercializados. Após a colheita, sua vida útil é de aproximadamente quinze dias, se manuseado corretamente.

A aplicação de tecnologias de processamento e conservação da água-de-coco viabiliza o comércio desse produto, otimiza o aproveitamento da fruta e diminui a participação percentual de intermediários que oneram o custo final do produto.

## **3.2 Matéria-prima: coqueiro**

### 3.2.1 Caracterização botânica

Quanto à taxonomia o coqueiro pertencente à família *Arecaceae*, cujo nome científico é *Cocos nucifera*. *Cocos* significa “espectro, duende” ou “rosto de sorriso largo” e *Nucifera* significa “nozes descascadas”. Seriam então, as nozes de sorriso largo que recebem os visitantes, vindos dos mares. Os altos coqueiros são sempre os símbolos de convite aos trópicos.

Há uma teoria muito interessante que tenta explicar a forma como esta palmeira teria se espalhado: os cocos teriam flutuado de um continente para o outro por meio das correntes oceânicas. Isso explicaria, por exemplo, a afirmação de que o coqueiro teria entrado de forma natural na região litorânea entre a Bahia e o Rio Grande do Norte.

Segundo Gomes (2007), a cultura do coqueiro da variedade gigante, chegou ao Brasil possivelmente, na colonização portuguesa em torno de 1553, oriunda da ilha Cabo Verde, que por sua vez, foram originadas de plantações indianas trazidas da África.

O coqueiro anão foi introduzido no Brasil pelos Doutores: Artur Neiva e Miguel

Calmon, quando retornavam de uma viagem ao Oriente em 1921, estimulados pela precocidade da produção e facilidade da colheita dos frutos. Na verdade, o centro da sua origem ainda é uma questão em debate pelo mundo afora. Algumas referências citam que provavelmente o coqueiro é nativo das ilhas do pacífico, sendo hoje em dia cultivado em todos os países tropicais. Alguns autores relatam o Sudeste Asiático (região peninsular) como o seu local de origem, outros colocam a sua origem no nordeste da América do Sul. Registros fósseis da Nova Zelândia indicam a existência de pequenas plantas similares ao coqueiro de mais de 15 milhões de anos. Fósseis ainda mais antigos foram também descobertos no Rajastão, na Índia.

O coqueiro é uma planta perene, uma palmeira de estipe liso que pode atingir até 25 m de altura e 30 a 50 cm de diâmetro, com esta altura variando de acordo com a idade e variedade da planta, conforme pode ser visto na Figura 4 (um coqueiro anão verde com seis anos de idade, com caule medindo cerca de 2m de altura). As folhas são largas e compridas. O fruto é uma noz grande com uma semente recoberta por uma casca dura. No interior da casca, encontra-se a amêndoa, que é a parte comestível, com cerca de 1cm de espessura e a cavidade cheia de líquido - a deliciosa água-de-coco. O período entre a formação do fruto até o amadurecimento é de cerca de 12 meses.

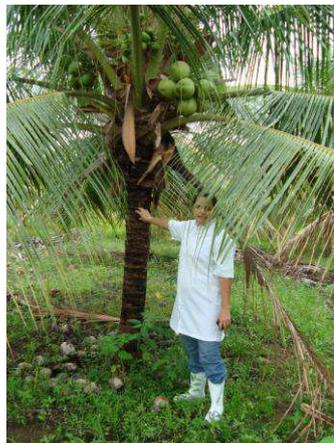


Foto: Andréa Lucena (2009)

Figura 4 – Coqueiro anão-verde (plantio do IFPB - 2009)

Com relação a sua estrutura física, o coqueiro é uma palmeira monóica de tronco único, freqüentemente inclinado, de 2 a 20 metros de altura (conforme a variedade), e 50 centímetros de diâmetro na base estreitando-se até a parte superior, suas folhas são em sua maioria verde-amareladas, de 1,5 a 4 metros longitudinais, com 50 a 70 centímetros de largura. Em condições ambientais favoráveis uma planta adulta emite de 12 a 14 folhas por ano (Figura 5). Possui inflorescência que nasce nas axilas das folhas inferiores, protegida por brácteas, chamadas também de espadas, de até 70 centímetros de comprimento e se desenvolve em três a quatro meses. A época da floração no Brasil é de novembro a março e os frutos amadurecem até 13 meses depois.



Foto: Andréa Lucena (2009)

Figura 5 – Foto de coqueiro, IFPB – Campus Sousa 2009.

Planta arbórea, copa densa e elegante. Raiz fasciculada (vai a 1,8m para lados e até 0,6m para baixo), caule indiviso chamado estipe ou espique, com tufo de folhas (30 a 35 unidades) bem verdes na extremidade. Folha constituída de pecíolo curto e por vários pseudo-folíolos, com 6m de comprimento e 1-2 anos de vida; inflorescência axilar em forma cacho com flores femininas globosas. A planta é monóica (órgãos masculinos e

femininos na mesma planta). As variedades de coqueiro são: gigante - também chamado de típico, é predominante, tem grande altura, polinização cruzada, fruto verde, cocos destinados à industrialização; anão - representado por tipos com frutos verdes, vermelhos e amarelos, tem autofecundação e frutos destinados ao consumo da água-de-coco e híbrido - proveniente do cruzamento natural ou artificial gigante x anão, não tem informações conclusivas sobre seu material.

### 3.2.2 O fruto

Fruto é drupa com casca (epiderme) lisa, camada fibrosa (mesocarpo) e parte dura (endocarpo). Na sua parte interna encontra-se a amêndoa e a "água-de-coco". O fruto também é conhecido como noz-semente, semente, formado por: epicarpo, mesocarpo, endocarpo, albúmen gelatinoso ou sólido e albúmen líquido, conforme pode ser visto na Figura 6.

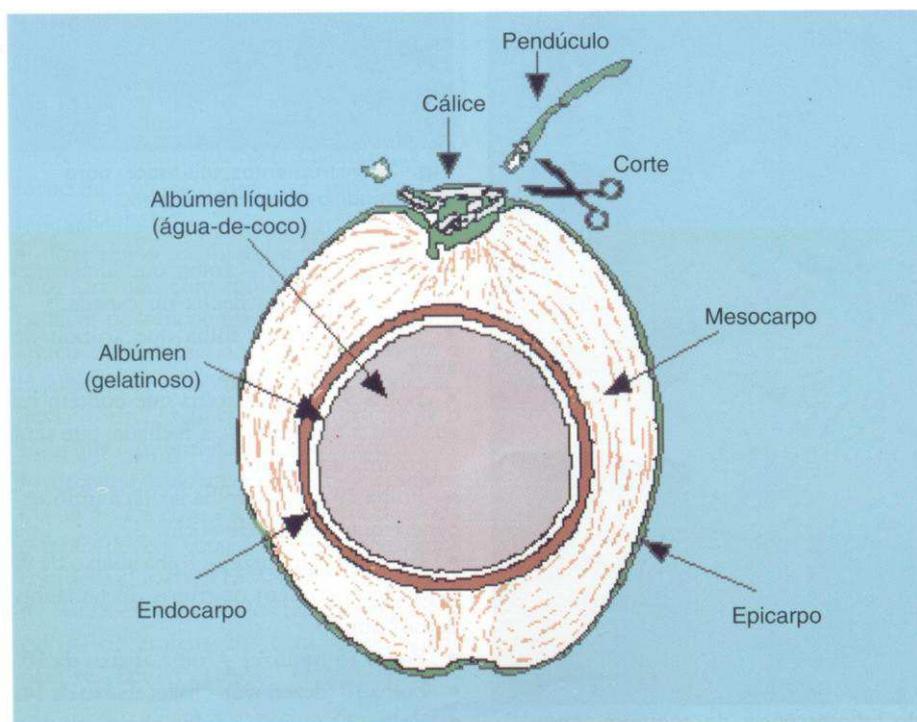


Figura 6 – Fruto do coqueiro. Fonte: Aragão et al., 1998.

Aragão et al (1998) definem que o fruto do coqueiro é formado por uma epiderme (casca) lisa ou epicarpo, de cor verde, amarelada, vermelha ou ainda marrom, de acordo

com a variedade considerada, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso, e, bem no interior, o endocarpo, que é uma camada muito dura. A semente, envolvida pelo endocarpo, é constituída por uma camada fina de cor marrom, o tegumento, que fica entre o endocarpo e o albúmen sólido. Este por sua vez, é uma camada carnosa, branca, muito oleosa, principalmente no fruto seco (entre 11 e 12 meses de idade). A semente forma uma cavidade, onde se encontra o albúmen líquido ou água-de-coco. O fruto é coberto de fibras, de 20 a 30 centímetros de diâmetro, com forma ovoidal, podendo chegar até 2,5kg, (ARAGÃO et al., 2002).

### 3.2.3 Principais tipos de coqueiro

O coqueiro é chamado de uma variedade de nomes, na qual reflete o seu uso na sociedade - árvore da vida, árvore da abundância, árvore do paraíso. Quase todas as partes do coqueiro são usadas. Ela é uma fonte primária de alimento natural, água, bebida, purificador, fluído reidratante, isotônico, energético, tônico, combustível, rejuvenescedor, servindo da fibra e abrigo (SACKEL, 2004).

O gênero *Cocos* é constituído apenas pela espécie *Cocos nucifera* L., a qual é uma espécie diplóide com 32 cromossomos ( $2n = 32$ ). Essa espécie, por sua vez, é composta por algumas variedades, entre as quais as mais importantes, do ponto de vista agrônomo, socioeconômico e agroindustrial, são as variedades: *Typica* (variedade gigante) e *Nana* (variedade anã), (ARAGÃO et al., 1997).

A variedade anã tem sido plantada nas diversas regiões do Brasil. É uma variedade precoce, iniciando o florescimento em torno de três anos de idade. Produz, em média, de 130 a 150 frutos/planta/ano. A variedade híbrida é também bastante satisfatória para a extração de água-de-coco, é relativamente precoce e seus frutos são geralmente grandes (ARAGÃO et al., 1997).

Embora os coqueiros anões produzam mais cedo que os gigantes e tenham boa produção, a polpa tem tendência a ser mais macia e flexível, de qualidade inferior a dos coqueiros gigantes, sendo empregados exclusivamente para água-de-coco. A variedade anã é composta das cultivares amarela, verde e vermelha, e a anã verde é a mais demandada para consumo de água seja “in natura” ou industrializada. O coqueiro anão verde é precoce, podendo florescer até com dois anos de idade após o plantio definido, desde que no cultivo haja aplicação da correta tecnologia. Em função também da tecnologia aplicada, a produção de frutos pode chegar a mais de 200 frutos/planta/ano.

O fruto é considerado pequeno e contém uma média de 300mL de água. O porte dessa cultivar, na idade adulta (20 a 30 anos), é de 10 a 12 m de altura e sua vida útil econômica pode chegar até a 40 anos. A Figura 7 ilustra um coqueiro da variedade anã verde em plena produção com apenas três anos de idade.



Foto: Andréa Lucena (2009)

Figura 7 - Detalhe de um coqueiro anão verde (Plantio IFPB-Sousa)

### 3.2.4 Água-de-coco

A formação da água-de-coco é uma estratégia ecofisiológica do coqueiro, no sentido de armazenar substâncias nutritivas de reservas para serem utilizadas naturalmente como mecanismo de sobrevivência da espécie, na nutrição do embrião, quando da germinação das sementes ou da plântula, durante períodos de eventuais estresses ambientais. O homem, aproveitando essa riqueza natural renovável, tem empregado a água-de-coco de forma crescente na alimentação e nutrição humana, na medicina como no caso de pacientes desidratados ou em atletas com exaustão física pela reposição de potássio e na biotecnologia, na conservação de sêmen de caprino, ovino, suíno e aves, na indução de diferenciação de células, entre outras aplicações (ARAGÃO, 2005).

A água-de-coco corresponde a aproximadamente 25% do peso do fruto, e sua composição básica apresenta 93% de água, 5% de açúcares, além de proteínas, vitaminas e sais minerais, sendo uma bebida leve, refrescante e pouco calórica (ARAGÃO, 2000). A água-de-coco é uma solução estéril, levemente ácida, que contém sais minerais, proteínas, açúcares, vitaminas, fatores de crescimento (fito-hormônios) e gorduras neutras (ARAGÃO et al., 2002).

A água-de-coco é formada na cavidade central, em pequenas quantidades a partir do 2º mês após a abertura natural da inflorescência, atingindo o volume máximo entre o 6º e 7º mês (300 a 600 mL, dependendo da cultivar) (ARAGÃO et al, 1997). Esse volume mantém-se constante durante um ou dois meses, mantendo dissolvida a maioria dos sais minerais, das proteínas e dos açúcares.

A água-de-coco é considerada ótima para o consumo quando os sólidos solúveis totais estão em torno de 5,5 a 9,0 °Brix, e a espessura do albúmen gelatinoso em torno de dois a três mm, medida com o auxílio de uma régua ou paquímetro (FAGUNDES, 1989).

A água-de-coco verde é uma bebida nutritiva e pouco calórica, possuindo em média, 27 cal (ROSA e ABREU, 2000). Ultimamente, o consumo da água-de-coco verde vem aumentando não só no uso alimentício, mas também em aplicações na área médica e biotecnológica.

A água-de-coco apresenta um conteúdo em sais minerais e açúcares, que a torna uma bebida isotônica natural. A Tabela 1 apresenta dados de análise físico-química da água-de-coco verde obtidos por Rosa e Abreu (2000) para águas de coco anão verde com sete meses de idade.

Tabela 1. Caracterização físico-química da água-de-coco anão verde com sete meses de idade. Adaptado de Rosa e Abreu (2000).

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
sacarose (g/100mL)	0,28
glicose (g/100mL)	2,38
frutose (g/100mL)	2,40
P (g/100g)	0,007
Ca (g/100g)	0,017
Na (g/100g)	0,007
K (g/100g)	0,156
acidez (%v/p)	1,11
pH	4,91
sólidos totais (g/100g)	5,84
brix	5,00
glicídios totais (g/100g)	3,46
proteína (g/100g)	0,37
valor calórico (Cal/100g)	27,51

No Brasil, a água-de-coco é muito consumida “in natura”. Em países que processam a copra, a água não é utilizada e torna-se um problema, por ser lançada nos rios, causando grande poluição, pois os sólidos dissolvidos servem de substrato para vários microrganismos, afetando o solo de maneira negativa (ROSÁRIO, 1979).

A água-de-coco sofre mudanças em sua composição durante o desenvolvimento do fruto. Além do grau de maturação, outros fatores, como variedade, a localização da região e a época do ano, também influenciam na qualidade da água. As características de qualidade desenvolvem-se durante as fases de crescimento e maturação do fruto, envolvendo a formação dos tecidos, mudanças físico-químicas e sensoriais. A qualidade do fruto é definida enquanto ele está ligado à planta, não sendo possível melhorá-la após a colheita, embora possa preservar sua qualidade por meio de adoção de técnicas de conservação (FAGUNDES, 1989).

#### 3.2.4.1 Açúcares

Os açúcares naturais em forma de frutose e glicose formam um importante elemento da água do coco jovem e macio. A concentração dos açúcares naturais na água-de-coco aumenta firmemente de 1,5% a 5,5% nos primeiros meses da maturação. O processo começa vagarosamente a cair cerca de 2% no estágio da maturidade completa do coco. É nos estágios iniciais da maturidade do coco que os açúcares, que estão na forma de frutose e glicose (açúcares reduzidos) e sacarose (açúcar não-reduzido) surgem. A sacarose surge somente nos estágios mais tardios e aumenta com a maturidade do coco, enquanto os açúcares reduzidos diminuem. Em um coco completamente maduro, aproximadamente 90 % do total de açúcares presente na água-de-coco está na forma de sacarose (FAGUNDES, 1989).

#### 3.2.4.2 Minerais

A água do coco verde contém vários minerais de grande valor para o corpo, como cálcio, sódio, potássio, ferro, fósforo, sulfato e clorídeos. Entre todos os minerais que se concentram na água-de-coco mais da metade é potássio. O ambiente no qual os coqueiros crescem influenciam na concentração do mesmo. A água do coco jovem e macia com sua alta concentração de potássio é perfeito balanço eletrolítico para o corpo humano. Isso ajuda na eliminação da sujeira tóxica do corpo através do aumento da atividade urinária e do rim (FORTES, 1993).

#### 3.2.4.3 Proteína

Água-de-coco contém pequena quantidade de proteínas. A porcentagem de alanina, arginina, cistina e serena da água do coco jovem é mais alta que no leite da vaca. A água do coco verde não contém qualquer complexo de proteínas que possa causar choque anafilático em pacientes (MARQUES, 1976).

#### 3.2.5 Emprego da água-de-coco

Na área de nutrição, é indicada para pessoas com grande desgaste físico, graças ao seu alto teor de potássio (FORTES, 1993).

Na área biomédica, a água-de-coco é usada como meio de cultura para fungos, leveduras e bactérias formadoras de ácidos, e no desenvolvimento de meristemas vegetativos e florais. É capaz de manter a longevidade de células em córneas humanas para transplante, e é empregada na obtenção de vacinas contra febre aftosa, raiva e leishmaniose. Por ter a composição biológica similar à do soro glicosado isotônico (plasma sanguíneo), pode ser usada como injeção intravenosa em casos de desidratação grave ou gastroenterites (MARQUES, 1976).

Na inseminação artificial, a água-de-coco tem sido utilizada na conservação de sêmen de abelha e como diluidor de sêmen de caprinos, ovinos, suínos, peixes e humanos, com resultados positivos (LAGUNA, 1996).

Apesar de estéril, enquanto no interior do fruto, sua composição, rica em nutrientes de fácil assimilação, propicia o desenvolvimento microbiano gerando problemas em sua conservação logo após abertura do fruto.

Outro aspecto a considerar refere-se à atividade enzimática naturalmente presente no líquido. Estas enzimas possuem finalidades específicas e vitais para o fruto “in vivo”. Porém, ao contato com o ar atmosférico, desencadeiam reações indesejáveis, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de coloração rosada. Há evidências de que a atividade enzimática é máxima em frutos com idade em torno de cinco a sete meses, decrescendo com o amadurecimento. No entanto, esse é o período ideal de colheita do coco para extração do albúmen líquido para consumo. Logo, essas enzimas são um dos principais contaminantes que deve ser destruído ou removido da água-de-coco verde para o devido envasamento e estocagem.

### 3.2.6 Colheita do coco

Segundo Assis et al. (2000), o líquido normalmente começa a se formar em torno do 2º mês após a abertura natural da inflorescência, atingindo valor máximo por volta do 5º ao 7º mês, sendo este o período recomendado para a colheita.

Em geral, esta é a época em que a água-de-coco também se encontra com máximo teor de açúcares e mais saborosa. A partir daí, há redução nestes valores, até o completo amadurecimento do fruto, no 12º mês. Este é um fator importante a ser considerado no aproveitamento industrial da água-de-coco.

O aparecimento do albúmen sólido ocorre entre o 5º e o 6º mês, e sua consistência permanece gelatinosa até um a dois meses depois, tornando-se rígida posteriormente. Os frutos devem ser colhidos com o máximo de cuidado, para evitar injúrias mecânicas provocadas pela queda. A amêndoa é ainda fina e delicada, e a noz está inteiramente cheia de água. O coqueiro-anão, por ser de pequeno porte, facilita a colheita do fruto.

A comercialização do coco é separada em dois segmentos: mercado de coco seco e mercado de coco verde. O custo do transporte assume papel relevante em ambos os segmentos, considerando as grandes distâncias entre o Nordeste e o Sudeste/Sul, geralmente percorridas por via terrestre, acrescentando em média 35% sobre o preço pago ao produtor, no caso do coco seco e de aproximadamente 133% no caso do coco verde, devido ao maior volume e peso a ser transportado e menor preço por unidade negociada. A Figura 8 mostra o detalhe do transporte de cocos verdes do campo para a unidade fabril (ARAGÃO et al, 2002).



Foto: Wilson Menezes Aragão

Figura 8. Detalhe do transporte de cocos verdes do campo para a unidade fabril. Fonte: Aragão et al., 2002.

Além do custo do transporte, o deslocamento do produto a grandes distâncias gera problemas, referentes ao acondicionamento da carga, a qual, conduzida a granel,

é envolvida por uma lona que aumenta a temperatura nas horas mais quentes do dia, provocando rachaduras nos frutos. Como dito anteriormente um caminhão com capacidade para 18T transporta aproximadamente 6.500 frutos verdes. O fruto do coqueiro verde anão com seis meses de idade pesa em torno de 1,5kg, e apenas 20% desse peso é referente a água, sendo 80% de casca. Portanto, é um produto pesado e volumoso, o que dificulta e encarece o transporte (CUENCA, 2007). Quando envasada em garrafas plásticas de 200mL de capacidade a água-de-coco passa a pesar cerca de 210g, sendo cerca de 5% deste peso referente a embalagem. Eis então, que a conservação da água-de-coco verde fora do fruto pode proporcionar grandes vantagens seja de transporte, armazenamento ou de prolongamento de vida útil.

### **3.3 Métodos de conservação da água-de-coco**

Como dito anteriormente, a água no interior do fruto é estéril. Porém, durante o processo de extração e envase, ocorrem contaminações microbiológicas e alterações bioquímicas que inviabilizam sua posterior comercialização. As etapas do processamento são elaboradas de forma que se utilizem artifícios físicos e químicos que podem ser usados, separadamente ou combinados (ROSA e ABREU, 2000).

A água-de-coco verde pode ser consumida tanto na forma “in natura” quanto processada e sua vida de prateleira dependerá dos métodos de conservação aplicados. Abreu (1999) estudou alguns métodos de conservação da água-de-coco utilizados de forma combinada, visando, essencialmente, inibir a ação enzimática e garantir a estabilidade microbiológica da água-de-coco após a abertura do fruto, mantendo o quanto possível suas características sensoriais originais. Há diversos

métodos de conservação da água-de-coco verde. A Figura 9 apresenta as etapas envolvidas nas várias formas de conservação do produto propostas por Abreu (1999).

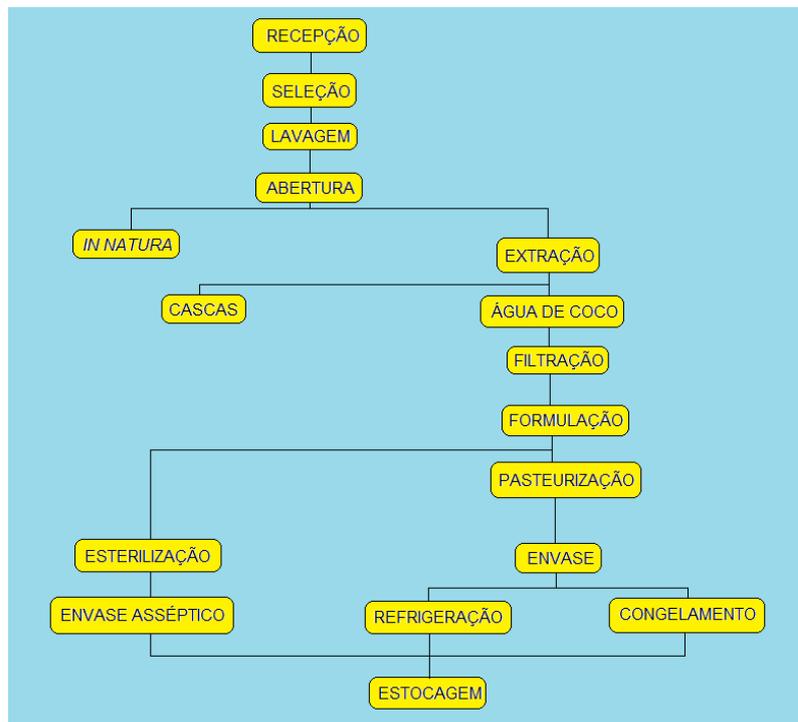


Figura 9. Fluxograma das etapas envolvidas nos processos de conservação da água-de-coco. Adaptado de Abreu (1999).

Atualmente a água-de-coco verde é comercializada de várias formas, Abreu (1999) cita em sua obra vários tipos de processos utilizados para prolongar a vida útil da água-de-coco, como por exemplo: a conservação no próprio fruto que pode ser consumido dentro de um período máximo de 10 dias, após o qual se iniciam processos de deterioração que comprometem, principalmente, a acidez do líquido. Segundo Abreu (1999) há evidências de que o pedicelo forma uma proteção natural contra a deterioração, sendo recomendável estocar os frutos na forma de cachos. Tendo em vista que a pressão interna do coco-verde situa-se em torno de 4 a 5 atm (ITAL, 1980), a temperatura elevada é considerada prejudicial à manutenção da sua qualidade, favorecendo o aparecimento de rachaduras na casca, o que dá início aos processos de

deterioração. A vida de prateleira poderá ser estendida através do uso de tecnologia de pós-colheita adequada (refrigeração e atmosfera controlada).

A água-de-coco pode ainda ser comercializada envasada e refrigerada com ou sem tratamentos auxiliares. Em quaisquer das formas de conservação, deve-se otimizar o tempo de processo e minimizar a exposição ao ar.

A formulação vem sendo uma prática bastante adotada e objetiva padronizar o produto final. Nessa etapa, além da correção de parâmetros como °brix e acidez podem também ser usados outros aditivos ou processos (como a pasteurização) capazes de prolongar a vida de prateleira da água-de-coco.

As etapas do processo devem ser rigorosamente seguidas e monitoradas para garantir a qualidade sob o ponto de vista sanitário, e de segurança do consumidor. Para o produto sem tratamentos auxiliares, a vida de prateleira é de cerca de três dias. Após este período, tanto a carga microbiana pode aumentar quanto reações bioquímicas podem desencadear processos de alteração de cor. A aplicação de tratamentos auxiliares permite estender a vida de prateleira do produto para até seis meses. A água-de-coco refrigerada é comercializada em garrafinhas plásticas do tipo “PET” (polietileno-tereftalato), podendo-se ainda observar o uso de copinhos com tampa termo-soldável ou garrafinhas de polietileno de baixa densidade (PEBD). A temperatura de armazenamento deverá ser mantida em torno de 5 a 8°C (ARAGÃO et al., 2002).

Após a abertura do fruto, a esterilização e o envase em embalagens cartonadas é a única forma de viabilizar a estocagem da água-de-coco à temperatura ambiente, uma vez que seu pH natural situa-se em faixas que possibilitam o crescimento de esporos bacterianos anaeróbios (ROSA e ABREU, 2000).

As inovações tecnológicas no setor de alimentos têm evoluído bastante nas últimas décadas e, dentre elas, destacam-se os sistemas de processamento e acondicionamento assépticos. Em geral, os sistemas assépticos envolvem as etapas de esterilização do material de embalagem; esterilização comercial do produto; acondicionamento do produto asépticamente; fechamento e manutenção da integridade da embalagem (FARIA, 1993).

O termo esterilização se refere à completa eliminação de todos os microorganismos. A indústria de alimentos usa um termo mais realista “esterilização comercial” quando o produto não é necessariamente livre de microorganismos, mas aqueles que sobrevivem não devem se multiplicar durante a estocagem, nem afetar a saúde pública, nem deteriorar o produto. E o termo “asséptico” significa livre de microorganismos, inclusive de esporos (MASSAGUER, 2007).

A água-de-coco é um dos produtos que estão despontando como promissores no processo de esterilização comercial, já possuindo algumas marcas comerciais no mercado. Porém, os custos de instalação de uma unidade industrial para envase asséptico de água-de-coco são bastante elevados e muitas vezes fora do alcance dos pequenos e médios empreendedores do setor. O acesso a esta tecnologia restringe-se aos grandes produtores, pois só largas escalas de produção justificam o investimento. A capacidade destas unidades gira em torno de valores acima de 5000 unidades de fruto/hora (ABREU, 1999).

A microfiltração da água-de-coco pode possibilitar a produção da água-de-coco estéril em pequena escala para micro e pequenas empresas, assim como para grandes empreendedores, devido ao fácil “scale up” possível nos sistemas de filtração com membranas.

As marcas atualmente oferecidas no mercado são provenientes de água-de-cocos maduros de variedades gigantes e/ou híbridos, subproduto das atividades de exploração da amêndoa de cocos secos. Com o aumento da demanda do mercado por água-de-cocos verdes, estas indústrias passaram a processar também o fruto imaturo da variedade anã, visando estabelecer uma proporção que venha a suprir as exigências do consumidor em relação ao sabor diferenciado da água-de-cocos maduros (ARAGÃO et al., 2002).

É justamente tentando melhorar estas características sensoriais e objetivando manter a qualidade do produto original que se inicia o estudo do processo de microfiltração da água-de-coco com membranas cerâmicas.

Magalhães et al (2005) em seus estudos de conservação de água-de-coco verde por filtração com membranas utilizou um sistema da DSS Silkeborg AS, com membranas de polisulfona em módulo tipo quadro e placas, obtendo bons resultados de esterilização comercial de água-de-coco verde. Porém, foram usadas membranas comerciais poliméricas importadas, com alto custo, e que após o uso as mesmas se tornavam inutilizadas devido ao entupimento irreversível dos poros. O estudo aqui iniciado utiliza membranas cerâmicas comerciais importadas e membranas cerâmicas produzidas aqui no Brasil, mais especificamente no Nordeste brasileiro, em Campina Grande-PB, com matéria-prima local de fácil aquisição. É um sistema de fluxo tangencial do tipo “cross-flow” que permite a redução do “fouling”, favorecendo uma melhor limpeza das membranas e a reutilização dessas membranas por várias vezes.

### **3.4 Microbiota da água-de-coco verde**

A qualidade microbiológica dos alimentos está condicionada, primeiro, à quantidade e ao tipo de microrganismos inicialmente presentes (contaminação inicial) e

depois à multiplicação destes germes no alimento. A qualidade das matérias-primas e a higiene (de ambientes, manipuladores e superfícies) representam a contaminação inicial. O tipo de alimento e as condições ambientais regulam a multiplicação (HOFFMANN, 2001).

Os microrganismos nos alimentos podem causar alterações químicas prejudiciais, resultando na chamada “deterioração microbiana”. A deterioração resulta em alterações de cor, odor, sabor, textura e aspectos do alimento. Essas alterações são consequência da atividade metabólica natural dos microrganismos, que estão apenas tentando perpetuar a espécie, utilizando o alimento como fonte de energia. Os microrganismos podem representar um risco à saúde, sendo denominados de patogênicos, podendo afetar tanto o homem como animais. As características das doenças que esses microrganismos causam dependem de uma série de fatores inerentes ao alimento, ao microrganismo patogênico em questão e ao indivíduo afetado. Os microrganismos patogênicos podem chegar até o alimento por inúmeras vias, sempre refletindo condições precárias de higiene durante a produção, armazenamento, distribuição ou manuseio em nível doméstico. Os microrganismos podem também, causar alterações benéficas em um alimento, modificando suas características originais de forma a transformá-lo em um novo alimento (FRANCO e LANDGRAF, 2003).

Todos os alimentos, de origem animal ou vegetal, apresentam-se, desde a origem, contaminados pelos mais diversos tipos de microrganismos, os quais fazem parte de suas floras habituais. Para manter o processo de multiplicação, esses microrganismos necessitam de condições favoráveis (qualidade do substrato, valor nutritivo, temperatura, pH, umidade etc.) (GERMANO, 2001). Poderíamos incluir um grande número de grupos de microrganismos nas análises de alimentos, no entanto

tenta-se manter o número de análise o menor possível para reduzir o custo e interpretar os resultados de forma menos complexa (MASSAGUER, 2006).

Serão tratados aqui, os grupos de microrganismos importantes na determinação da sanidade da água-de-coco para o consumo humano. A contagem total de microrganismos aeróbios mesófilos é uma medida grosseira do conteúdo bacteriano, das condições de abuso de temperatura e da sanitariedade do processo. O grupo coliforme total não deve ser correlacionado diretamente com a contaminação fecal, mas a sua presença pode significar mau processamento ou contaminação pós-processo ou ambos. O *E. coli*, também chamado “coliformes a 45°C” presente indica contaminação fecal direta ou indireta, avaliando a sanitariedade na indústria. A *Salmonella* quando detectada no produto condena o lote em análise. Os bolores e leveduras em altas contagens indicam sanitização pobre no processamento de alimentos ou uma seleção mal feita da matéria-prima introduzindo produtos contaminados. Podem indicar também, possível presença de micotoxinas que podem ou não apresentar risco à saúde (MASSAGUER, 2006).

### **Bactérias Aeróbias Mesófilas**

A maioria dos alimentos industrializados (exceto, por exemplo, alimentos fermentados) devem ser considerados inadequados para ao consumo quando contém um grande número de microrganismos, mesmo quando estes não sejam conhecidos como patógenos e não haja alteração de forma apreciável nos caracteres organolépticos do alimento, segundo a Comissão Internacional de Padrões Microbiológicos para Alimentos (I.C.M.S.F.). Todas as bactérias patogênicas conhecidas, veiculadas por alimentos, são mesófilas e em alguns casos contribuem com sua presença para as contagens em placas encontradas. A causa mais freqüente de alteração nos alimentos é devida ao desenvolvimento de microrganismos, podendo-

se esperar, nos mesmos, contagens elevadas. Os níveis de população necessários para produzir modificações organolépticas ostensivas variam amplamente segundo o tipo de alimento e, de modo particular, a classe dos microrganismos. No momento em que a decomposição pode ser detectada pelo odor, gosto ou aspecto, a maioria dos alimentos contém mais de  $10^6$  microrganismos por grama (JACOBS, 1960).

Na técnica de contagem de microrganismos aeróbios mesófilos, uma quantidade conhecida de inóculo é colocada numa placa de Petri, seguindo-se a adição de Agar Padrão para Contagens fundido, que é misturado com o inóculo através de movimentos rotatórios. A solidificação do meio fixa os microrganismos no gel. Admite-se que cada microrganismo viável cresce e multiplica-se, dando origem a uma massa visível - uma colônia - ou seja, cada organismo dá origem a uma colônia. Dessa forma, através do número de colônias formadas pode-se saber o número de microrganismos viáveis no inóculo. A amostra original é diluída várias vezes para que o número de colônias presentes na placa fique compreendido entre 30 e 300. Dentro desses limites a contagem pode ser precisa e a possibilidade de interferência do crescimento de um microrganismo com o de outro é mínima.

Se as células tiverem tendência de formar agregados, como cocos em cachos, estafilococos, em cadeias, estreptococos, ou leveduras formando pseudo-micélios, as contagens resultantes serão mais baixas que o número de células individuais, pois cada um dos agregados produzirá apenas uma colônia. Por essa razão, as "contagens" são expressas como Unidades Formadoras de Colônias (U.F.C.) por unidade de volume ou massa dependendo da natureza da amostra de alimento (líquido ou sólido) e não como número de microrganismos. A técnica de contagem em placas apresenta como vantagens o fato de ser de fácil realização; além disso, mede populações de qualquer grandeza em virtude das várias diluições realizadas e apresenta sensibilidade

para a detecção de populações muito pequenas. Essa técnica é utilizada rotineiramente na contagem de microrganismos presentes na água, leite e alimentos em geral.

### **Bactérias do grupo coliforme**

O termo habitual “coliforme” compreende a bactéria *Escherichia coli* e diversas espécies pertencentes a outros gêneros da família *Enterobacteriaceae*.

Os “coliformes” são os microrganismos que se detectam pelas “*provas para coliformes*”. Este grupo de bactérias apresenta as seguintes características em comum: são bactérias na forma de bastonete, Gram-negativas, não esporuladas, que fermentam a lactose com produção de gás em 48 h a 35 °C. Nos alimentos naturais e nas superfícies de utensílios e equipamentos nas indústrias de alimentos, vários tipos de bactérias da família das *Enterobacteriaceae* permanecem mais tempo que a *Escherichia coli*. As espécies de *Erwinia* e *Serratia* estão associadas com vegetais e não indicam contaminação fecal. Isso explica porque *E. Coli* é o único microrganismo índice válido para análise de vegetais frescos. Nos alimentos frescos ou naturais de origem animal, a maior parte das enterobacteriáceae procede de contaminações de origem fecal e sua presença em grande número pode indicar uma manipulação não higiênica e/ou armazenamento inadequado. Nos alimentos que receberam um tratamento para garantir sua sanidade, a presença de níveis consideráveis de *Enterobacteriaceae* ou de coliformes indica:

- Tratamento inadequado e/ou contaminação posterior ao tratamento, mais freqüentemente a partir de matérias-primas, equipamentos sujos ou manipulação não higiênica;
- Multiplicação microbiana que poderia ter permitido o crescimento de toda uma série de microrganismos patogênicos e toxigênicos.

## **Coliformes de origem fecal**

Os “coliformes fecais” compreendem um grupo de microrganismos selecionados de inóculos procedentes de caldos de enriquecimento de coliformes a temperaturas de 35 °C. Tais cultivos de enriquecimento contêm geralmente uma alta porcentagem de *Escherichia coli* tipo I e II e são, por isso, indicadores de uma provável contaminação de origem fecal do alimento. O método para a quantificação de coliformes fecais, baseado na fermentação da lactose em temperatura elevada (44 - 45 °C), apresenta algumas deficiências, pois outros coliformes termotolerantes além da *E. coli*, principalmente *Klebsiella*, os quais por não serem de origem exclusivamente fecal, comprometem a utilização do subgrupo coliformes fecais como indicadores de contaminação fecal. Em decorrência disto, as tendências atuais, em termos de desenvolvimento de metodologia analítica, se direcionam para a detecção específica de *E. coli*.

## **Técnica do Número Mais Provável (NMP)**

A técnica do NMP é uma forma de se estimar o número de microrganismos presentes na amostra. É baseado na probabilidade estatística de certo número de microrganismos estarem presentes na amostra quando uma série de resultados positivos ocorrem. Esta estimativa é obtida pelo preparo de diluições decimais sucessivas da amostra e a transferência de alíquotas destas diluições para uma série de três ou cinco tubos contendo meio de cultura adequado. No caso da análise de coliformes, o resultado positivo é evidenciado pela presença de gás no interior do tubo invertido (tubo de Durham), contido no interior do tubo com meio de cultura. O método do NMP é, portanto, uma forma indireta de medida, em contraste com a técnica de plaqueamento que pode ser considerada como um método direto.

## **Detecção de *Salmonella***

A *Salmonella* pertence à família Enterobacteriaceae, é Gram-negativa, produz gás e ácido a partir da dextrose e normalmente não fermenta a lactose. Existem mais de 2000 tipos sorológicos classificados de acordo com os seus antígenos, que possuem vários graus de virulência nos animais de sangue quente.

A *Salmonella* está muito disseminada na natureza, ocorrendo freqüentemente no trato intestinal e nas fezes de seres humanos e de animais. Estas bactérias também podem ser encontradas em empresas que processam ou manipulam gêneros alimentícios, nas carnes cruas, como a carne de gado, porco e aves, nos ovos e seus produtos derivados. Outras origens são animais domésticos, roedores (ratos e camundongos) e insetos.

A salmonelose é um termo usado para descrever a doença que resulta da ingestão da bactéria *Salmonella* e a infecção resultante. Para que uma pessoa seja infectada é necessário que consuma alimentos que estejam contaminados com *Salmonella*. Este microrganismo entra no trato digestivo, multiplica-se no intestino delgado e grosso causando uma inflamação que resulta em gastroenterite. As salmoneloses causadas por *Salmonella spp.*, desenvolvem um quadro de infecção gastrointestinal, tendo como sintomas mais comuns dores abdominais, diarréias, náuseas, vômitos, calafrios e febre, podendo também ocorrer, ocasionalmente desidratação, dor de cabeça e fadiga. O período de incubação é cinco a 72 horas, normalmente de 12 a 36 horas após a ingestão do alimento e a duração da doença é de dois a seis dias.

### **Tamanho dos microrganismos**

As células bacterianas têm uma grande variedade de tamanhos e formas. A maioria das bactérias tem em geral 0,2 a 2 $\mu$ m de diâmetro e 1 a 6 $\mu$ m de comprimento, embora muitos organismos do meio ambiente possam ter até 100 $\mu$ m. A maior bactéria

já descrita, *Epulopiscium fishelsonii*, vive no trato digestivo do peixe esturjão e mede  $600\mu\text{m} \times 80\mu\text{m}$ . As bactérias existem em quatro morfologias básicas: células esféricas (cocos), células em forma de bastonete (bacilos), células de forma espiral (espirilos) e células em forma de vírgula (vibriões). As enterobactereaceae podem ser identificadas por uma preparação corada pelo Método de Gram revelando células bacilares ou cocobacilares gram-negativas curtas e arredondadas, com 0,5 a 2,0 $\mu\text{m}$  de largura e 2,0 a 4,0 $\mu\text{m}$  de comprimento (KONEMAN, 2008).

Porter (1990) ilustra bem na Figura 10 a diferença dos tamanhos de vários microrganismos encontrados, principalmente, nos alimentos.

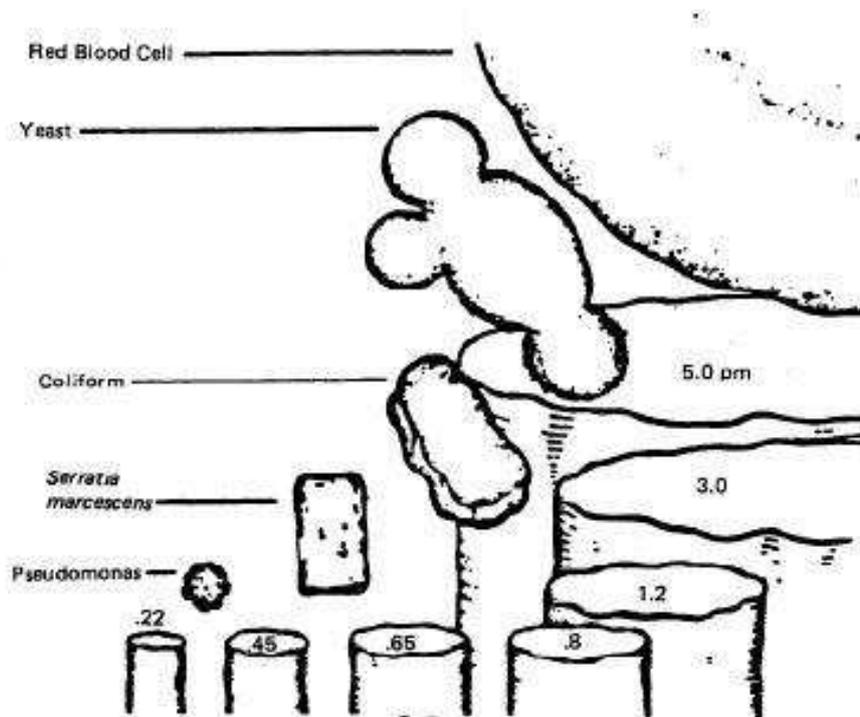


Figura 10 - Tamanhos de vários microrganismos (PORTER, 1990).

### 3.5 Estudos sobre membranas

O primeiro registro que se tem notícia, sobre um estudo relativo a fenômenos que ocorrem com membranas, data de 1748 e se deve a um abade francês de nome Abbé Jean Antoine Nollet, que observou o transporte de vinho através de uma bexiga (membrana) animal. Desde então, inúmeras outras pesquisas vieram contribuir para o atual estágio tecnológico, cabendo ressaltar entre estas, as desenvolvidas por Dutrochet, que introduziu o termo osmose para designar o fluxo espontâneo de líquido através de uma membrana permeável, e por Graham, que deu contribuições na área de permeação de gás (BODDEKER, 1995, citado por TAVARES, 2000).

A primeira membrana sintética foi desenvolvida em 1867 por Moritz Traube, e era usada somente em poucos laboratórios de pesquisa e teve uma pequena aplicação industrial, pois não era disponível comercialmente, não era seletiva, além de ter custo alto.

A partir de 1960, Loeb e Sourirajam perceberam que as membranas podiam ter elevado fluxo se possuísssem uma camada muito fina no topo de um suporte poroso para dar resistência mecânica as membranas. Este trabalho teve grande desenvolvimento para os processos de separação por ultrafiltração e nanofiltração.

Nos anos 90 o campo das membranas esteve presente numa variedade de processos e a sua manufatura esteve distribuída entre a Europa, EUA e Japão (SORIA, 1995). Novas membranas têm sido desenvolvidas todos os dias, as companhias compram e vendem com rapidez, cada vez mais, as membranas para a indústria química.

Atualmente existe uma tendência em substituir os suportes de membranas orgânicas por inorgânicas e a confecção da membrana passa a ser específica de acordo com o processo a ser aplicado. Com o aumento da indústria de membranas há conseqüentemente um aumento da aceitação da técnica de separação para muitos processos havendo assim uma quantidade maior nos produtos e redução de custo (TAVARES, 2000).

Embora os processos de separação com membranas sintéticas sejam recentes, vêm sendo utilizados de forma bastante crescente, sendo que cada tipo de processo apresenta um desenvolvimento diferenciado.

Habert, Borges e Nóbrega (1997) exemplifica de modo geral (Quadro 1), as várias aplicações dos processos de separação com membranas, nos permitindo uma visão ampla do crescimento e da importância desta tecnologia na ciência e estudo de vários segmentos.

Quadro 1 - Exemplos de aplicação de processos com membranas, (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997).

ÁREA	APLICAÇÕES
QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quebra do azeótropo benzeno/hexano</li> <li>• Recuperação de H<sub>2</sub> - síntese da amônia</li> <li>• Fracionamento CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub></li> <li>• Fracionamento do ar: obtenção de gás inerte e de corrente rica em oxigênio</li> </ul>
BIOTECNOLOGIA E FARMACÊUTICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação de substâncias termolábeis</li> <li>• Desidratação de etanol</li> <li>• Purificação de enzimas</li> <li>• Fracionamento de proteínas</li> <li>• Esterilização de meios de fermentação</li> <li>• Bio-reatores a membranas</li> </ul>
ALIMENTÍCIA E BEBIDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração de leite</li> <li>• Concentração do soro de queijo</li> <li>• Concentração de sucos de fruta</li> <li>• Clarificação de vinhos e cervejas</li> <li>• Desalcoolização de vinhos e cervejas</li> </ul>
TRATAMENTO DE ÁGUAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dessalinização de águas</li> <li>• Eliminação de traços orgânicos</li> <li>• Tratamento de esgotos municipais</li> <li>• Desmineralização de águas p/ caldeiras</li> <li>• Água ultrapura p/ indústria eletrônica</li> </ul>
TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação água/óleo</li> <li>• Recuperação de índigo - têxtil</li> <li>• Recuperação de PVA - têxtil</li> <li>• Recuperação de íons metálicos - couro</li> <li>• Recuperação de proteínas - laticínio</li> <li>• Tratamento águas - papel e celulose</li> </ul>
MEDICINA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rim artificial - hemodiálise</li> <li>• Pulmão artificial - oxigenadores</li> <li>• Ar enriquecido em oxigênio</li> <li>• Esterilização de soluções injetáveis</li> <li>• Dosagem controlada de remédios</li> </ul>

Os processos que utilizam membranas porosas como microfiltração e ultrafiltração, tiveram um desenvolvimento mais rápido que os de permeação de gás e

Andréa de Lucena Lira PPGEP/CCT/UFCG

pervaporação, devido aos maiores fluxos que apresentam, permitindo o desenvolvimento de aplicações industriais (MULDER, 1991).

Os processos de filtração são técnicas indispensáveis na indústria de alimentos e bebidas. Em muitas aplicações é melhorada a qualidade e a vida útil dos produtos.

Os processos recuperam componentes valiosos de produtos lácticos, frutas, vegetais, grãos, açúcares, produtos animais e possibilita a purificação de muitos constituintes. A microfiltração é usada geralmente para a retenção de componentes celulares, microrganismos e outros sólidos de bebidas alcoólicas ou não alcoólicas, isto é, clarificação e esterilização. Uma ampla variedade de materiais são processados incluindo leite, cerveja, vinho, uísque, água potável, xaropes, óleos reprocessados e vinagres.

Segundo Scott (1996) as aplicações da tecnologia de membranas na indústria de alimentos são numerosas e incluem:

- microfiltração: para clarificação no lugar de centrifugação e esterilização ao invés do tratamento térmico;
- ultrafiltração: para fracionamento, concentração e purificação;
- nanofiltração: para dessalinização, desacidificação;
- eletrodialise: para desmineralização;
- osmose inversa: para concentração e tratamento de efluentes.

Em geral os processos de separação na indústria consomem uma quantidade significativa de energia, como a destilação, por exemplo, principalmente na separação

líquido-vapor. Como alternativa para economia de energia, a indústria pode adotar sistemas de separação com membranas, pois estes sistemas oferecem vantagens em relação aos processos de separações convencionais consumindo menor quantidade de energia e ainda são compactos e de fácil manuseio (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 2006). De acordo com HABERT, BORGES e NÓBREGA (2006), seja qual for o mecanismo empregado, uma separação não se dá, se não cumprir três condições:

- é necessário que os componentes a separar sejam distintos em uma ou várias de suas propriedades físico-químicas: tamanho, densidade, ponto de ebulição etc.
- em todos os casos deve empregar-se uma superfície de separação: superfície de filtração, superfície de membrana, superfície de decantação, superfície de compartimentação de uma centrifuga, superfície de aquecimento na destilação etc.
- na medida em que a separação muda o produto, de um estado desordenado a um estado mais ordenado, precisa-se de certa quantidade de energia.

A partir do início da década de 70, em adição aos processos clássicos de separação como destilação, filtração, absorção, troca iônica, centrifugação, extração por solvente, cristalização e outros, surge uma nova classe de processos que utiliza membranas como barreira seletiva (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 2006). De uma maneira geral, uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases.

Uma análise das características de cada processo com membranas, apresentada no Quadro 2, permite inferir quais os processos clássicos de separação que podem ser substituídos por esta nova tecnologia.

Quadro 2 – Características dos processos de separação por membranas comerciais, (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

PROCESSO	FORÇA MOTRIZ	MATERIAL RETIDO	MATERIAL QUE PERMEIA	APLICAÇÕES
<b>MICROFILTRAÇÃO (MF)</b>	$\Delta P$ (0,5 - 2 atm)	Material em Suspensão, Bactérias PM > 500.000 (0,01 $\mu$ m)	Água e sólidos dissolvidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterilização Bacteriana</li> <li>• Clarificação de Vinhos e Cervejas</li> <li>• Concentração de Células</li> <li>• Oxigenação de Sangue</li> </ul>
<b>ULTRAFILTRAÇÃO (UF)</b>	$\Delta P$ (1-7 atm)	Colóides, Macromoléculas PM > 5000	Água (Solvente) Sais solúveis de baixo PM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fracionamento e concentração de Proteínas</li> <li>• Recuperação de pigmentos</li> <li>• Recuperação de óleos</li> </ul>
<b>NANOFILTRAÇÃO (NF)</b>	$\Delta P$ (5-25 atm)	Moléculas de peso molecular médio 500 < PM < 2000	Água, sais e moléculas de baixo peso molecular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purificação de enzimas</li> <li>• Bioreatores a membrana</li> </ul>
<b>OSMOSE INVERSA (OI)</b>	$\Delta P$ (15-80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água (Solvente)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dessalinização de águas</li> <li>• Concentração de suco de frutas</li> <li>• Desmineralização de águas</li> </ul>
<b>DIÁLISE (D)</b>	$\Delta C$	Moléculas de PM > 5000	Íons e orgânicos de baixo peso molecular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hemodiálise - Rim Artificial</li> <li>• Recuperação de NaOH</li> </ul>
<b>ELETRODIÁLISE (ED)</b>	$\Delta V$	Macromoléculas e Compostos não iônicos	Íons	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração de soluções salinas</li> <li>• Purificação de águas</li> </ul>
<b>PERMEAÇÃO DE GASES (PG)</b>	$\Delta P \Rightarrow \Delta C$	Gás menos permeável	Gás mais permeável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperação de hidrogênio</li> <li>• Separação CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub></li> <li>• Fracionamento do Ar</li> </ul>
<b>PERVAPORAÇÃO (PV)</b>	Pressão de vapor	Líquido menos Permeável	Líquido mais permeável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desidratação de alcoóis</li> <li>• Eliminação de VOC da água</li> </ul>

Em processos que utilizam membranas porosas, a seletividade é definida pela relação de tamanho entre as espécies presentes e os poros da membrana (como na microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração). No caso de processos com membranas densas, a capacidade seletiva depende da afinidade das diferentes espécies com o material da membrana e da difusão das mesmas através do filme polimérico (como na osmose inversa, pervaporação e permeação de gases) (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

Três tipos de materiais inorgânicos são freqüentemente usados na produção de membranas, são eles: metais, vidros e cerâmicas. As membranas metálicas são obtidas por sinterização de pó metálico (Tungstênio e Molibdênio). As membranas de vidro (óxido de silício ou sílica,  $\text{SiO}_2$ ) são principalmente preparadas por técnicas envolvendo vidros.

Em função das aplicações a que se destinam, as membranas apresentam diferentes estruturas. De um modo geral, as membranas podem ser classificadas em duas categorias: densas e porosas. Uma membrana porosa é perfeitamente caracterizada quando conhecidos os seguintes parâmetros: porosidade superficial, tamanho e distribuição de tamanho de poros. As membranas densas, ou não porosas, são utilizadas para promover separações de moléculas de baixo peso molecular. Neste caso, mais do que o tamanho da molécula, a natureza química e a estrutura do polímero que compõe a membrana e sua interação com as espécies a separar são de fundamental importância (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 2006).

Qualquer que seja a técnica empregada no preparo de uma membrana, é necessária sua caracterização, tendo em vista o tipo de aplicação a que se destina. Cabe salientar que pequenas variações nas condições de síntese de uma membrana, pode acarretar variações significativas em sua estrutura, alterando completamente a sua

performance. O que se busca com as técnicas de caracterização é relacionar propriedades estruturais das membranas como porosidade, distribuição de tamanho de poros, espessura (no caso de membranas porosas) e, cristalinidade e volume livre (no caso de membranas poliméricas densas), com suas características de separação (BHAVE, 1991).

Mesmo que características como porosidade, distribuição de poros, curva de corte, permeabilidade hidráulica e outras sejam fornecidas pelo fabricante, estudos sobre o desempenho da membrana quando em operação numa determinada aplicação industrial se faz necessário, como por exemplo, fluxos permeados em processos de ultrafiltração podem chegar a 10% do valor da permeabilidade hidráulica.

O fluxo da água pura é um dado utilizado para caracterizar membranas de micro e ultrafiltração. No caso de microfiltração, dependendo da aplicação, o fluxo permeado pode atingir valores muito menores do que o fluxo da água pura. Esta diferença entre o fluxo permeado obtido na caracterização das membranas e quando em operações de processo industrial se deve a fenômenos como polarização de concentração e adsorção de diferentes espécies na superfície e nos poros da membrana, (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

### 3.5.1 Membranas cerâmicas

As membranas cerâmicas são filmes extremamente finos, ou seja, são películas muito finas contendo poros abertos de maneira que deixe passar o solvente da solução e retenha o soluto (COT, 1988). Em outras palavras, podemos definir uma membrana, como uma barreira semipermeável entre duas fases, a qual previne um contato intimamente. A barreira pode ser permesseletiva. Geralmente as membranas são combinadas em um módulo, o qual é uma unidade pequena e prática, contendo uma série de membranas

mais um suporte poroso (BURGGRAAF, 1996). Segundo Larbot, 1996, as membranas cerâmicas podem ser descritas como cerâmicas porosas assimétricas, formadas por um suporte macroporoso com sucessivas camadas finas.

Para reduzir a perda de vazão provocada pela presença de poros pequenos é comum que se procure diminuir ao máximo a espessura da membrana filtrante. Isso acarreta em uma baixa resistência mecânica dessa parte do filtro, que é então depositada sobre um substrato que pode ser mais espesso por possuir poros consideravelmente maiores do que a camada filtrante e, portanto não reduz a vazão do conjunto.

Assim as membranas cerâmicas se caracterizam por serem depositadas em suportes microporosos, usualmente do mesmo material, para o caso das membranas de alumina. Também é possível encontrar membranas de um material, sobre suportes inorgânicos de outro material inorgânico (MERIN e DAUFIN, 1989).

As membranas cerâmicas foram inicialmente comercializadas em aplicações de microfiltração e nos últimos anos sua maior evolução foi na diminuição do diâmetro dos poros, atingindo membranas para ultrafiltração, com diâmetro dos poros da ordem de 5nm e mais recentemente emerge membranas para nanofiltração, com poros menores que 2nm (HSIEH, 1996).

A preparação de membranas cerâmicas tem recebido grande atenção nos últimos anos. Um excelente número de revisões tem sido publicado por vários pesquisadores onde se mostra a eficiência dessas membranas em processos de separação (HSIEH, 1996 e BHAVE, 1991).

As primeiras membranas cerâmicas foram desenvolvidas a partir de 1940 para aplicações nucleares, e essencialmente para separação de isótopos de urânio por processo de difusão gasosa.

As membranas cerâmicas são basicamente constituídas de óxidos de silício, alumínio, zircônio ou titânio. Distintamente dos materiais poliméricos, acredita-se que os materiais cerâmicos pouco participam do processo de transporte das moléculas permeantes. Sua importância maior reside no fato que permite a fabricação de estruturas microporosas bem variadas com um bom controle de distribuição de tamanho de poros, caracterizadas por resistências térmicas e químicas elevadas e baixa plasticidade (são duros e quebradiços) (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 2006).

Tem havido um desenvolvimento substancial de membranas cerâmicas, e características específicas deste tipo de membrana contribuem para esse avanço, tais como: resistência térmica, um alto grau de resistência a solventes orgânicos, bom potencial de limpeza, alta resistência mecânica, aplicável em ampla faixa de pH, um longo ciclo de vida e uma boa relação custo/benefício. Estas características mostram que este tipo de membrana tem muito potencial de aplicação em processos de separação (VILAR, 2004).

As membranas cerâmicas podem ser usadas em temperaturas muito altas, acima de 500°C e apresentam propriedades essenciais para filtração, tais como inércia química, estabilidade biológica e resistência a altas temperaturas, além de ter uma longa vida útil e permitirem limpezas eficientes, (BHAVE, 1991).

Cerâmicas são ótimos materiais para produção de tubos filtrantes. Segundo Habert, Borges e Nóbrega (1997) as principais vantagens das membranas cerâmicas comparadas às membranas poliméricas são:

- resistência a altas temperaturas acima de 500°C (especialmente no desenvolvimento de módulos e sistemas que trabalham acima de 700°C);
- boa resistência a corrosão: resistente a solventes orgânicos e vasta faixa de pH;

- as membranas cerâmicas são facilmente limpas e esterilizáveis;
- alta resistência mecânica: a possibilidade de suportar pulso de pressão, resultando na eficiente remoção da camada de sujeira e a possibilidade de tratamento de fluidos de alta viscosidade;
- quimicamente inerte: uma larga faixa de possível aplicação na indústria química;
- longa vida de operação;

### 3.5.2 Processos de separação com membranas

Os processos de separação com membranas porosas baseiam-se na permeação de um ou mais componentes de uma mistura através de uma membrana seletiva. Nesses processos, uma corrente de alimentação é fracionada em duas, uma de concentrado e outra de permeado. O concentrado contém tudo aquilo que ficou retido na membrana e o permeado a fração filtrada. Nas membranas tubulares (Figura 11), a filtração ocorre em fluxo cruzado. Neste tipo de filtração, uma parcela da solução atravessa a membrana, deixando para trás as partículas rejeitadas que se juntam à parcela remanescente da corrente de alimentação. Como existe um fluxo contínuo junto à superfície, as partículas rejeitadas não se acumulam e a corrente de entrada é dividida em duas: permeado e concentrado (LUCENA FILHO, 2000).

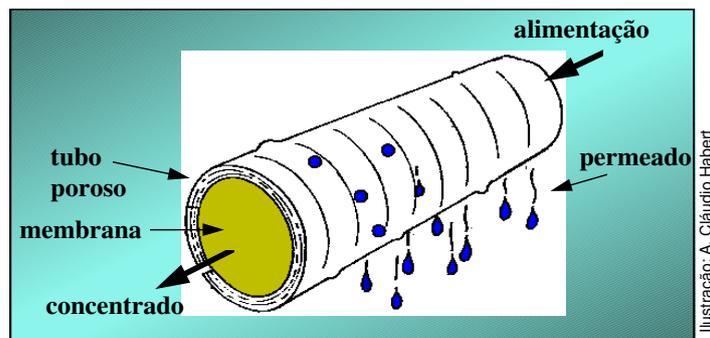


Figura 11 – Fluxo cruzado durante a permeação em membrana tubular (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

Os processos com membranas para os quais a diferença de pressão é a força motriz têm sido utilizados para concentrar, fracionar e purificar soluções diluídas, em particular soluções aquosas. Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros ou mesmo densas são empregadas, caracterizando os processos conhecidos como Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). Os processos de MF, UF, NF e OI podem ser entendidos como uma extensão dos processos de filtração clássica que utilizam, nesta seqüência, meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados (poros cada vez menores), (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

A microfiltração é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica que utiliza membranas porosas com diâmetro médio dos poros entre 0,1 a 10 $\mu$ m, (MERIN, 1989). Geralmente, partículas suspensas e colóides são retidas enquanto macromoléculas e sólidos dissolvidos passam através da membrana. As suas aplicações principais incluem remoção de bactérias, materiais floculados ou sólidos suspensos.

A ultrafiltração é um processo de separação por membranas utilizado quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas para ultrafiltração apresentam diâmetro dos poros entre 1 e 100 nm, portanto mais fechados do que as membranas de microfiltração, (COT, 1988). Os materiais retidos por essas membranas podem ser ilustrados na Figura 12, e incluem colóides, proteínas, contaminantes microbiológicos e grandes moléculas orgânicas.

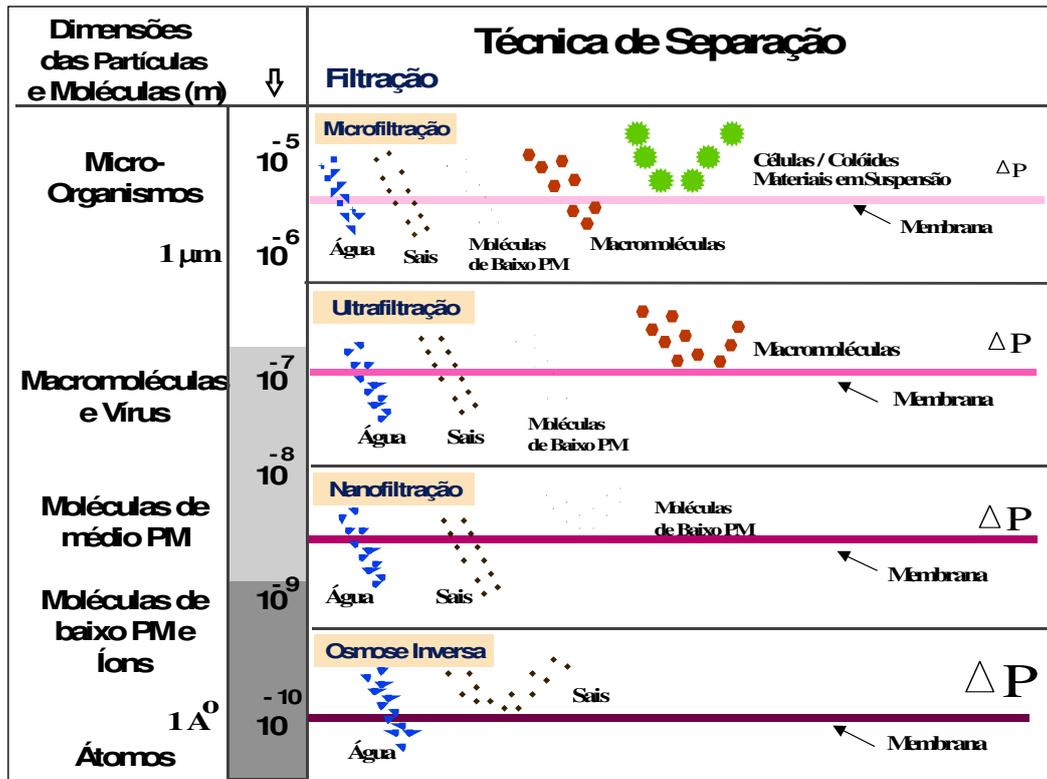


Figura 12– Características dos processos com membranas (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

A remoção de contaminantes de fluídos é uma das maiores aplicações das membranas. Um contaminante é normalmente definido como cada matéria presente no fluído que precisa ser removida ou controlada para impedir a interferência química, física ou biológica da qualidade do produto. Os contaminantes são considerados geralmente como sólidos, semi-sólidos ou partículas líquidas que podem ser separadas de fluidos carregados por alguns processos físicos, tipicamente algumas formas de barreira. Podemos citar algumas formas de contaminantes e seus respectivos tamanhos e tratamentos, conforme descrito no Quadro 3, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Quadro 3 – Tamanhos relativos de pequenas partículas e processos de separação (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

	Microscopia de força atômica		Microscópio eletrônico		Microscópio ótico		Visível a olho nu	
	Matéria dissolvida		colóides		Matéria suspensa			
	íons	moléculas	macromoléculas	micropartículas	macropartículas			
Peso molecular (D) <sup>a</sup>	100	1000	10000	100000				
Tamanho (µm) <sup>b</sup>	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	
Dimensão do soluto ou da partícula	sais minerais		proteínas		algas e protozoários			
	ácidos fúlvicos				eritrócitos			
	ácidos orgânicos				flocos de FeCl <sub>3</sub>		macrófitas e zooplânctons	
	íons metais		pirógenos				areia	
	pesticidas		virus		Bactérias/microalgas			
	aminoácidos		colóide				pólen	
	polissacarídeos							
Processo de separação de membranas <sup>c</sup>	RO							
	NF				MF			
			UF					
	diálise							
	eletrodíálise							
Processo de separação físico-químico			ultracentrifugação					
					centrifugação			
					Coagulação/floculação/decantação/sedimentação		filtração convencional	
Processo de separação com troca de fase	destilação/concentração com géis							
Processo de separação química	troca de íons							
			Extração com solventes					
			resinas macroporosas					
	carvão ativado							

<sup>a</sup> D: Dalton, medida de peso molecular e um D corresponde ao peso de um átomo de hidrogênio.

<sup>b</sup> µm = 1 x 10<sup>-6</sup>m.

<sup>c</sup> RO: osmose reversa; NF: nanofiltração; UF: ultrafiltração; MF: microfiltração.

Conforme as características específicas para cada tipo de membrana é, suposto então que o processo de microfiltração seja o mais indicado para esterilização da água-de-coco, do que os outros processos (ultrafiltração, nanofiltração etc.).

A tecnologia de filtração com membranas apresenta uma série de vantagens em relação aos processos clássicos de separação. Em geral, o fracionamento ocorre à temperatura ambiente, sem mudança de fase e sem que haja necessidade de utilização de fonte térmica, o que significa uma considerável economia de energia. Como a separação é conduzida sob condições brandas, a utilização desses processos pode, em muitos casos, melhorar a qualidade do produto final, como no caso de sucos onde o uso do calor altera as propriedades sensoriais e nutricionais dos alimentos.

Uma das principais características dos processos de separação com membranas é que eles podem ser operados em fluxo do tipo tangencial ou fluxo cruzado, “cross flow filtration”, além da operação clássica do tipo “dead end filtration”, como pode ser visto na Figura 13.

Na operação do tipo “dead end” uma solução ou suspensão é pressionada contra a membrana. O permeado passa pela membrana e o soluto ou materiais em suspensão são retidos, acumulando-se na interface membrana/solução, no fenômeno chamado polarização de concentração.

Na filtração de fluxo cruzado (fluxo do tipo tangencial) a solução escoia paralelamente a superfície da membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente a mesma. Neste caso é possível minimizar a polarização.

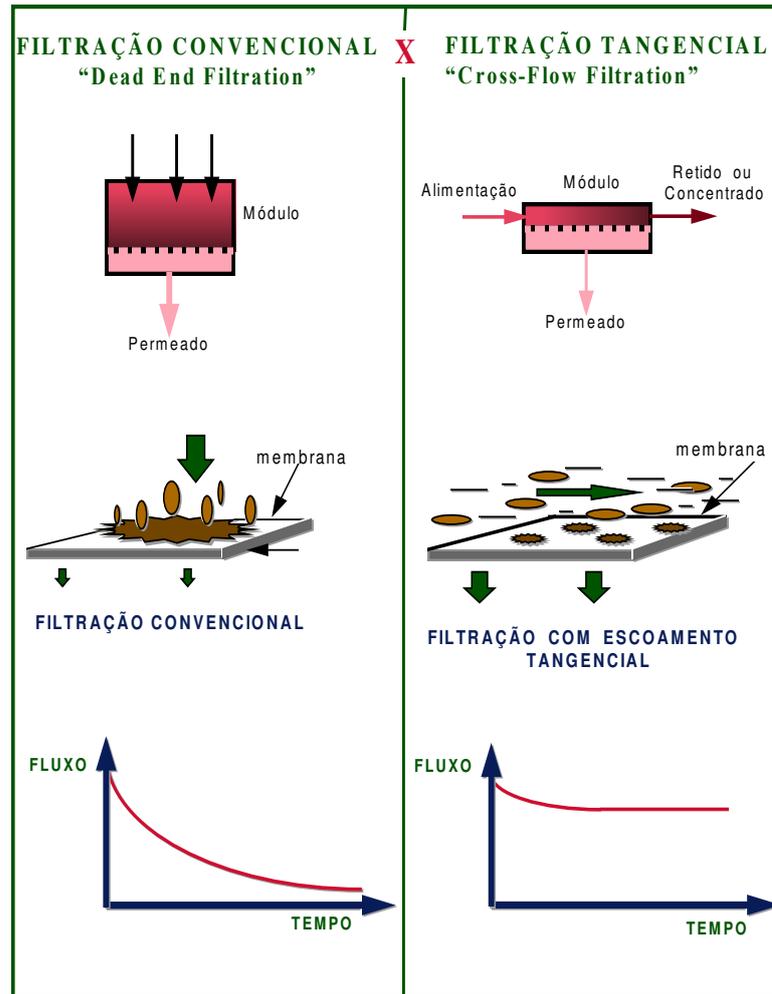


Figura 13 – Esquema dos modos de operação e curvas de fluxo, (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 1997).

As membranas de microfiltração e ultrafiltração são porosas e sua eficiência depende da relação do tamanho dos poros existentes na superfície da membrana. A membrana age como uma peneira molecular. A capacidade de filtração do processo resulta na diferença de pressão aplicada à membrana, das propriedades físicas da alimentação e do tamanho dos poros da membrana. Quanto menor a porosidade da membrana maior sua resistência à filtração e, conseqüentemente, a diferença de pressão a ser aplicada, necessária para que haja permeado, aumenta (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 2006).

### 3.5.3 Microfiltração

A microfiltração é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10  $\mu\text{m}$ , sendo, portanto processos indicados para a retenção de materiais em suspensão e emulsão. Como as membranas de microfiltração são relativamente abertas, as pressões transmembrana empregadas como força motriz para o transporte são pequenas, não ultrapassando 3 bar. Na microfiltração o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana. Apenas o material em suspensão é retido (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 2006).

Quando se processa uma solução utilizando-se um processo de separação com membrana, independente da operação ser do tipo “dead end” ou tangencial, haverá um aumento da concentração do soluto na interface membrana/solução, uma vez que a membrana é supostamente seletiva ao soluto. Imediatamente inicia-se uma retrodifusão deste soluto em direção ao seio da solução estabelecendo-se, rapidamente, um perfil de concentração deste soluto nesta região próxima a interface membrana/solução. Este fenômeno é conhecido como polarização de concentração (HABERT, BORGES e NÓBREGA, 2006).

Além disto, na maioria dos casos se observa um decréscimo contínuo do fluxo permeado com o tempo, provocado também por outros fenômenos como, por exemplo: a adsorção das moléculas de soluto na superfície da membrana; entupimento de poros por moléculas ou partículas em suspensão e depósito de material em suspensão sobre a superfície da membrana. Estes fenômenos, em sua maioria de natureza irreversível, recebem o nome de “fouling”. A operação do sistema com velocidade tangencial e pressão transmembrana não muito alta, pode minimizar o “fouling”. O aumento da

velocidade provoca uma diminuição da espessura da camada limite de polarização, aumentando o fluxo de retrodifusão e, como consequência, diminui a concentração na interface com a membrana. A operação em baixa pressão, por diminuir o fluxo permeado, diminui o aporte de soluto em direção da superfície da membrana, ficando menos polarizada, (HABERT, BORGES E NÓBREGA, 1997).

#### 3.5.4 Aplicações da Microfiltração

As principais aplicações de membranas de microfiltração incluem a remoção de bactérias da água para uso médico-farmacêutico, a esterilização e clarificação de diferentes tipos de bebidas e fármacos, recuperação de células, e na remoção de leveduras (SCOTT, 1996).

Habert, Borges e Nóbrega (1997), em sua obra lista uma série de processos em que são utilizadas membranas de microfiltração, como por exemplo:

##### 3.5.4.1 Esterilização

Um dos maiores campos de aplicação da microfiltração é a esterilização. Ela é particularmente útil na indústria farmacêutica e na biotecnologia uma vez que a microfiltração é operada em temperatura ambiente, adequada ao processamento de substância termosensíveis. A esterilização, por microfiltração, de produtos farmacêuticos como antibióticos, de meios de cultura e de soros vem sendo utilizada com uma frequência cada vez maior pelas indústrias do ramo. A esterilização de ar também se constitui em uma grande aplicação da microfiltração, em particular para se alimentar biorreatores onde ocorre fermentações aeróbicas.

##### 3.5.4.2 Clarificação

A clarificação de vinhos, cervejas e sucos vem se constituindo em outro grande campo de aplicação da microfiltração. A vantagem, neste caso, é que a microfiltração,

além de ser eficiente, não altera as propriedades organolépticas desses produtos. São empregadas, normalmente membranas com poros nominais de 0,45 $\mu$ m. Dependendo da origem do produto pode ser necessário uma pré-filtração como proteção ao módulo de membrana.

#### 3.5.4.3 Purificação de Águas

Recentemente a microfiltração começou a ser utilizada na purificação de águas superficiais visando à produção de água potável. Este certamente será o grande mercado da microfiltração no futuro. Na indústria a microfiltração também pode ser usada para purificar águas. Um exemplo é a indústria de semicondutores. Segundo a Millipore, 58% de todos os circuitos integrados apresentam defeitos devido a contaminações dos fluidos utilizados no seu processamento, em particular da água. Só para se ter uma idéia, mesmo uma água ultrapura, com impurezas de apenas 1 parte por bilhão, contém cerca de  $2 \times 10^{12}$  partículas por metro cúbico.

#### 3.5.4.4 Substituição do Uso de Terras Diatomáceas

Outra aplicação da microfiltração é a sua utilização em substituição aos processos de filtração que empregam terra diatomácea como auxiliar de filtração. Embora eficiente, a filtração auxiliada gera montanhas de rejeitos formados pela torta de filtração, constituída pelo material retido e, principalmente, pela auxiliar de filtração. Um exemplo de aplicação, neste caso, é a filtração do mosto fermentado na produção de antibióticos. Neste caso o rejeito, formado apenas pela biomassa retida pelas membranas pode ser utilizado como ração animal, ao contrário do que ocorre no caso da filtração auxiliada onde, devido à presença da terra diatomácea, a torta não pode ser aproveitada.

#### 3.5.5 Limpeza de membranas

A força-motriz que impulsiona a separação na maioria das membranas utilizadas é a pressão positiva ou negativa. Nestes processos, o soluto (água) é forçado a atravessar a

barreira semipermeável constituída pela membrana, que retém contaminantes químicos e/ou particulados. A produtividade do sistema depende do fluxo de água através da membrana, que por sua vez é condicionado por uma série de fatores que, coletivamente, constituem a resistência da membrana à filtração, tais como:

- diâmetro dos poros;
- porosidade da membrana (fração da área da membrana ocupada por poros);
- espessura da membrana;
- fenômenos operacionais, por exemplo a camada de concentração-polarização;
- camadas de material retido na superfície da membrana (tortas de filtro);
- géis ou camadas de sais precipitados (fouling químico);
- “fouling” biológico (biofilmes).

O fluxo é o parâmetro mais importante para caracterização de uma membrana. O fluxo de referência de uma membrana é o fluxo da água destilada através da membrana limpa.

Em membranas de separação de material particulado, como por exemplo, a microfiltração, a formação da torta de filtro resulta em um aumento vertiginoso da resistência da membrana, acompanhada de forte redução da taxa de fluxo.

Todo sistema de membranas possui um sistema que permite a limpeza química periódica das membranas “in situ”, por um processo denominado de CIP (“clean in place”). Os ciclos de limpeza química ocorrem em intervalos que variam de acordo com a gravidade do problema de “fouling”. Um ciclo de limpeza é desencadeado quando os parâmetros de operação (fluxo e pressão) atingem valores pré-determinados. A aplicação de ciclos de limpeza química em intervalos adequados, impede o comprometimento irreversível da membrana e o crescimento excessivo de biofilmes. A efetividade do processo de limpeza depende da formulação da solução de limpeza, da frequência de

aplicação e do protocolo de aplicação. A limpeza ácida é geralmente empregada para a remoção de depósitos inorgânicos, enquanto que, depósitos orgânicos e biofilmes são removidos com formulações alcalinas, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Todas as soluções de limpeza incluem biocidas (cloro, monocloramina, peróxido de hidrogênio, formaldeído, glutaraldeído, aminas quaternárias etc.) para inativação de microrganismos. O pH da solução de limpeza deve ser compatível com a faixa de pH da membrana. No caso de membranas poliméricas a análise prévia da compatibilidade entre os componentes das soluções de limpeza e os polímeros da membrana, é imprescindível para evitar problemas ainda mais sérios de bloqueio de membranas. Aplicações repetidas de uma mesma solução podem resultar na seleção de um biofilme resistente. É aconselhável a utilização de duas ou três formulações diferentes. A temperatura da solução de limpeza é outro fator importante a ser considerado no processo. Soluções com temperaturas mais elevadas são geralmente mais eficientes para a limpeza de membranas, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

### **3.6 Considerações gerais**

A água-de-coco verde é uma bebida agradável muito consumida nas regiões litorâneas, existindo também grande apelo popular em relação às qualidades terapêuticas e nutricionais. Tradicionalmente, esse produto é transportado dentro do próprio fruto, ocasionando problemas de transporte, armazenamento e perecibilidade do produto.

A água-de-coco apresenta características próprias de um meio de cultura altamente nutritivo e favorável à ação microbiana, o que acarreta problemas em sua conservação logo após a abertura do fruto. Além disso, tem sido relatado que as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, também presentes na água-de-coco, promovem,

freqüentemente, após exposição ao oxigênio, reações indesejáveis, que prejudicam a qualidade sensorial do produto, sobretudo o aparecimento de uma coloração rosada, (ARAGÃO, 2002).

Assim, na industrialização da água-de-coco podem ocorrer problemas de contaminação microbiológica e mudanças na sua composição química e bioquímica, alterando a segurança e a qualidade sensorial (aparência, cor, aroma e sabor) do produto, inviabilizando a sua comercialização.

Em geral, os métodos de conservação buscam prevenir ações microbiológicas, químicas e/ou enzimáticas que comprometem a vida de prateleira do produto.

Os processos de separação com membranas, mais especificamente, a microfiltração e a ultrafiltração, pode ser uma alternativa na remoção de enzimas e na estabilização da água-de-coco.

Na microfiltração, a carga microbiana presente na água-de-coco após o seu processo de extração pode ser reduzida ou mesmo eliminada, pois os microrganismos são maiores do que os poros de determinadas membranas de microfiltração. Dependendo das características da membrana selecionada para o processamento, as enzimas também podem ser retidas. Por outro lado, os açúcares e sais minerais presentes na composição da água permeiam através da membrana, pois apresentam tamanho menor do que os poros das membranas de microfiltração.

O potencial para a instalação de sistemas de membranas para a estabilização da água-de-coco verde é grande, uma vez que essa tecnologia já vem sendo aplicada com sucesso para a estabilização de diferentes sucos de frutas.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Local da Pesquisa

A presente pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus Sousa, no Laboratório de análises físico-química e microbiológica de alimentos - Labalimentos (Figura 14a) e no plantio de coqueiro da variedade Nana do IFPB – Campus Sousa (Figura 14b).



Figura 14(a): Laboratório de análise de alimentos; (b): coqueiral do IFPB – Sousa

### 4.2 Material em análise

#### 4.2.1 Cocos

Para iniciar o estudo do processamento da água-de-coco por membranas cerâmicas, primeiramente, foi necessário acompanhar o estágio de maturação do coco, durante um ano para se determinar o melhor período de colheita do fruto para extração da água-de-coco verde. Sendo assim, foi necessária a demarcação e acompanhamento dos coqueiros no plantio, desde o início da floração natural até os dozes meses de idade do fruto, quando praticamente se encerra a vida do coco com a queda do fruto do pé.

O coqueiro normalmente produz de 12 a 15 inflorescências por ano em intervalos de 24 a 30 dias. A inflorescência é constituída por um pedúnculo do qual partem de 15 a 20

ráquis, ao longo das quais se produzem flores unissexuais, masculinas e femininas (FRÉDMOND, ZILLER e NUCÉ DE LAMONTHE, 1975). Na Figura 15 pode ser visto um coqueiro anão verde com inflorescências iniciadas.



Figura 15 – Inflorescência e frutos do coqueiro (IFPB – Sousa).

No dia da abertura natural de cada inflorescência, datou-se o pecíolo da folha correspondente durante o período de um ano, para se colher o fruto e determinar a produção de água e suas características físico-químicas nas idades de 1 a 12 meses.

#### 4.2.2 Membranas

Uma segunda fase do estudo foi a caracterização das membranas utilizadas, com a determinação do fluxo da água destilada para cada membrana, com o intuito de obter dados da funcionabilidade do sistema e da capacidade de filtração da membrana, além de

obter referências para verificar a limpeza da membrana após o uso. Este ensaio se torna importante para definir o parâmetro do fluxo constante, onde não há entupimento da membrana e que servirá de referência para posterior comparação com outros fluídos. Para este estudo foram utilizadas oito membranas, conforme a Figura 16.

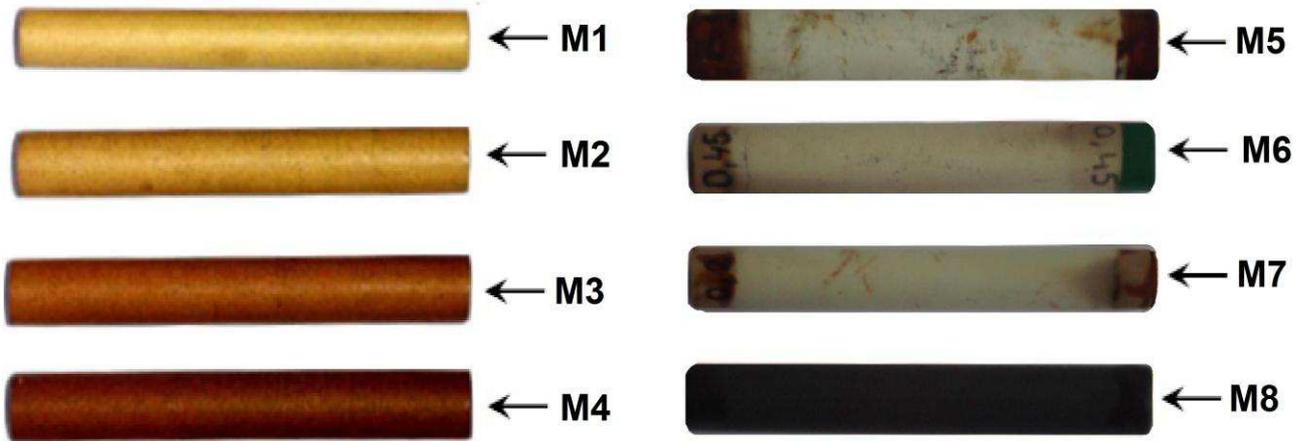


Figura 16 – Imagem das membranas utilizadas no experimento

As membranas M1, M2, M3 e M4 são membranas de formato tubular, de cordierita produzidas por Silva (2006). Constam de membranas com tamanhos de poros diferentes na faixa de microfiltração.

A membrana M5 é uma membrana, também de formato tubular, de alumina produzida por França (2006). Trata-se de uma membrana com tamanho de poros na faixa de  $0,8\mu\text{m}$ .

As membranas M6 e M7 são membranas comerciais de alumina e titânia produzidas pela Kerasep<sup>®</sup> para sistemas de microfiltração, e a M8 é uma membrana de ultrafiltração de zircônia, também comercial produzida pela Rhodia Francesa.

Todas as membranas foram testadas quanto ao fluxo hidráulico nas pressões de 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e  $8,0\text{kgf/cm}^2$ . Sendo que, a maioria só apresentou fluxo a partir de  $3,0\text{kgf/cm}^2$  de pressão e a membrana de ultrafiltração, M8, não apresentou fluxo

hidráulico sob pressões abaixo de  $8,0\text{kgf/cm}^2$ . Sendo assim, foram estipuladas duas pressões de trabalho para a execução dos ensaios: pressão de  $3,0\text{kgf/cm}^2$  e de  $8,0\text{kgf/cm}^2$ .

Foram feitos quinze ensaios com três repetições, cada, descritos conforme Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Ensaios de microfiltração com diferentes membranas e pressões.

<b>Ensaio</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Pressão</b>	<b>Processo</b>
1	M1	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
2	M1	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
3	M2	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
4	M2	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
5	M3	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
6	M3	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
7	M4	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
8	M4	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
9	M5	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
10	M5	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
11	M6	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
12	M6	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
13	M7	$3,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
14	M7	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Microfiltração
15	M8	$8,0\text{ kgf/cm}^2$	Ultrafiltração

Numa terceira fase, foi feito um estudo prévio do comportamento do sistema com água-de-coco verde, utilizando amostras de coco “in natura” (no próprio fruto - Figura 17a), provenientes do coqueiral do IFPB – Campus Sousa, que após ser processada (micro ou ultrafiltrada e engarrafada - Figura 17b), foram mantidas sob refrigeração até o momento das análises. Estas amostras foram escolhidas com o intuito de avaliar além da

eficácia do processo de microfiltração, a qualidade da água-de-coco consumida pela população em geral da região.



Figura 17(a) – Amostras de coco utilizadas neste estudo.



Figura 17(b) – Amostras de água-de-coco antes e após processamento (envasada e refrigerada) utilizado neste estudo.

### 4.3 Amostragens

Foi feito inicialmente um estudo de acompanhamento do estado de maturação do coco e da formação e desenvolvimento das principais características da água-de-coco ao longo de um ano, acompanhada mês a mês.

O ponto ideal da colheita do fruto verde está relacionado a uma série de indicadores relacionados à planta, ao fruto, as características químicas e sensoriais da água, ligados

aos aspectos nutritivos alimentares e de saúde humana. A determinação do ponto de colheita é feita pela associação de indicadores morfológicos relacionados à idade, ou ao tamanho do fruto, ou ainda a contagem de folhas na planta (os cachos com frutos nas idades de seis e sete meses estão normalmente nas folhas 17 a 19 na época do verão, época seca com temperaturas elevadas, e 18 a 20 na época do inverno, época de chuva com temperaturas mais amenas, respectivamente. Isto porque o intervalo de abertura das inflorescências do coqueiro é menor no verão, intervalo médio de 18,4 dias, em relação ao período do inverno, intervalo médio de 23,9 dias) e de químicos relacionadas à água (CARVALHO et al., 2006).

Foram marcados 30 pés de coqueiro que estavam iniciando sua floração natural. Em cada pé foi identificado um cacho de coco para se retirar uma amostra (uma unidade de coco) mensal. Foram analisadas trinta amostras de coco cada mês, sendo cada coco proveniente de um pé diferente. Cada coco era então avaliado quanto as suas dimensões de diâmetro e comprimento, quanto ao conteúdo de água em gramas, e quanto ao brix, pH e acidez. Obtendo assim um acompanhamento do estágio de maturação do coco para extração da água-de-coco no período de março de 2007 a março de 2008.

Determinado o melhor período de colheita do coco para extração da água, foi feito então um estudo do processo de higienização do coco para processamento. Este estudo foi feito a partir de coleta de pelo menos três unidades de coco para cada tratamento testado. Foram feitas análises microbiológicas da água-de-coco extraída do coco, como mostra na Figura 18, sem tratamento algum (T1) e após os tratamentos de lavagem dos cocos com água (T2), lavagem com esponja e sabão (T3) e lavagem com detergentes e imersão em solução de cloro a 100ppm por 20 minutos (T4).

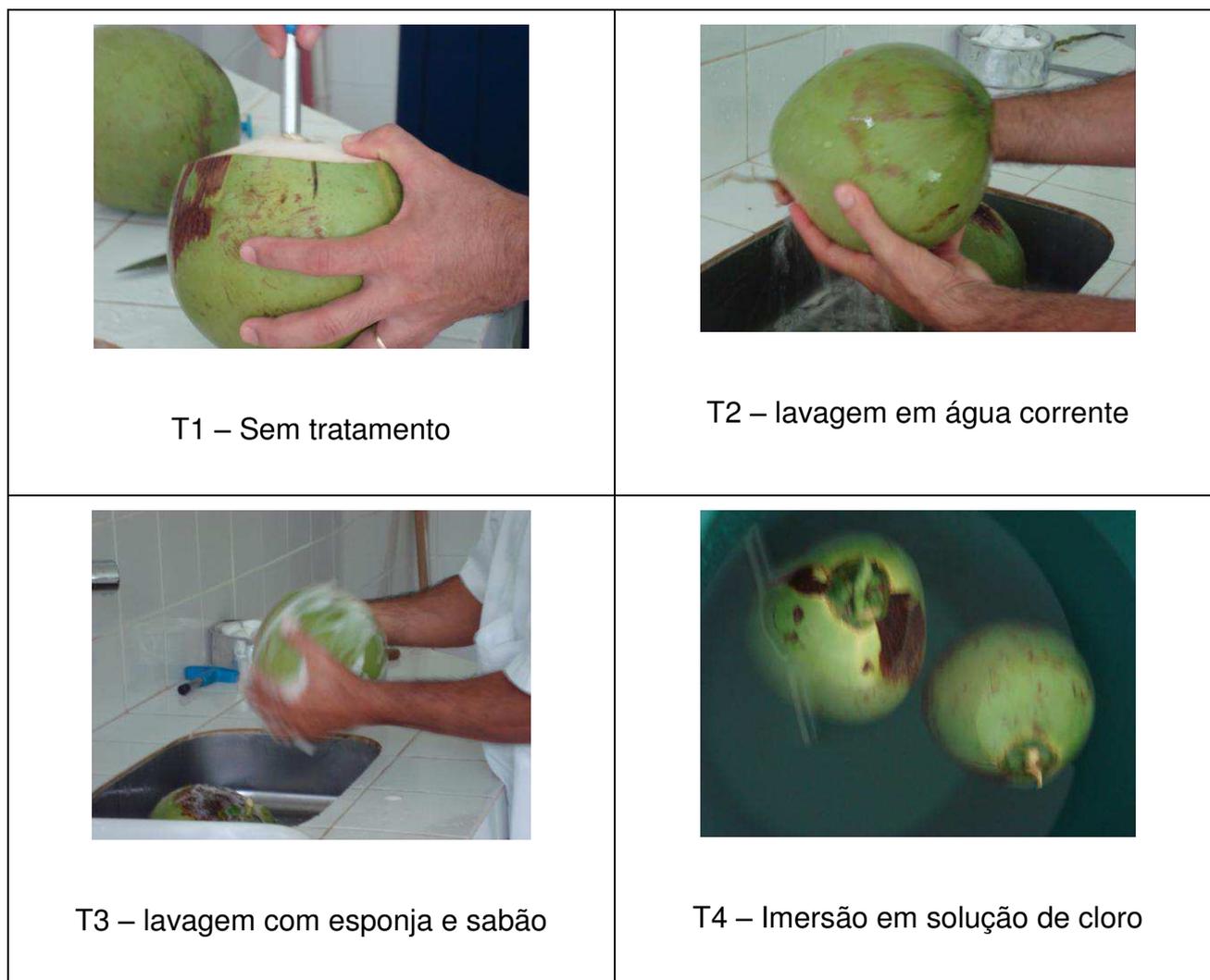


Figura 18 – Tratamentos de higienização testados nos cocos

Para o processamento de água-de-coco verde por micro e ultrafiltração foram feitos vários ensaios, sendo cada ensaio composto por em média 90 unidades de coco (fruto). Avaliou-se microbiologicamente a água processada, embalada em garrafas plásticas e armazenada sob refrigeração, conforme o fluxograma da Figura 19. As análises microbiológicas e físico-químicas foram efetuadas na mesma semana da coleta, com cinco dias de armazenamento sob refrigeração a 5°C. Num outro ensaio foi efetuada a análise de algumas amostras em estoque sob refrigeração por dez meses.

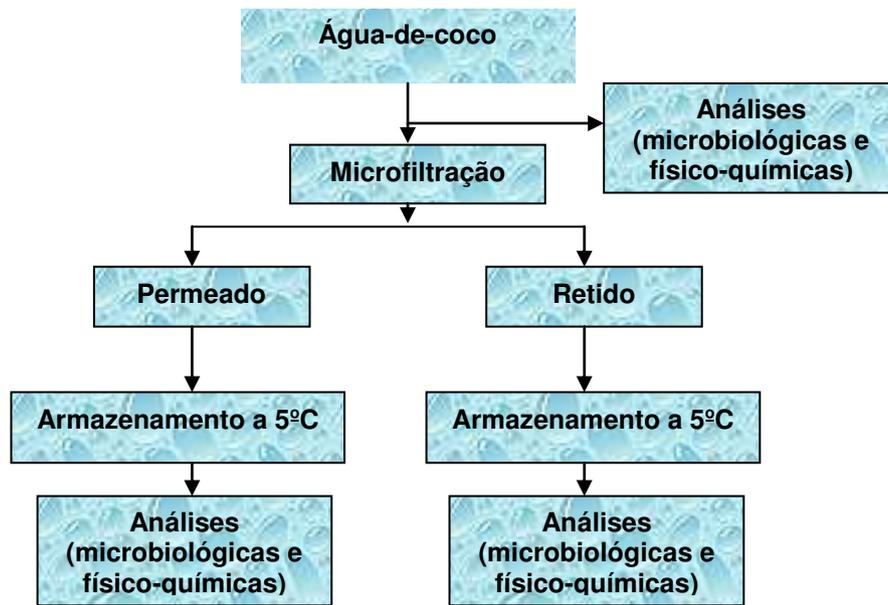


Figura 19 - Fluxograma do procedimento experimental

#### 4.4 Armazenamento

O armazenamento das amostras foi feito em garrafas plásticas e mantidas sob refrigeração com temperatura ajustada entre cinco e sete °C, de forma a conservar o produto por períodos prolongados.

#### 4.5 Ensaio de Microfiltração

O procedimento experimental consta de um sistema formado por um reator que envolve a membrana cerâmica, de forma a vedar a passagem do fluido natural para não contaminar o fluído permeado (microfiltrado) pela membrana. Na Figura 20, pode-se observar de forma esquemática o sistema para o processo de separação por microfiltração em escala de laboratório, o qual consiste dos seguintes componentes: tanque de alimentação, bomba, reator com membrana de micro ou ultrafiltração, coletor de permeado e registro de passagem. O funcionamento do sistema é baseado no escoamento do fluído pela cavidade interna da membrana de forma que a solução escoo paralelamente a superfície da membrana (fluxo tangencial), enquanto o permeado é transportado transversalmente por gradiente de pressão regulado através do ajuste da

válvula de regulação de pressão.

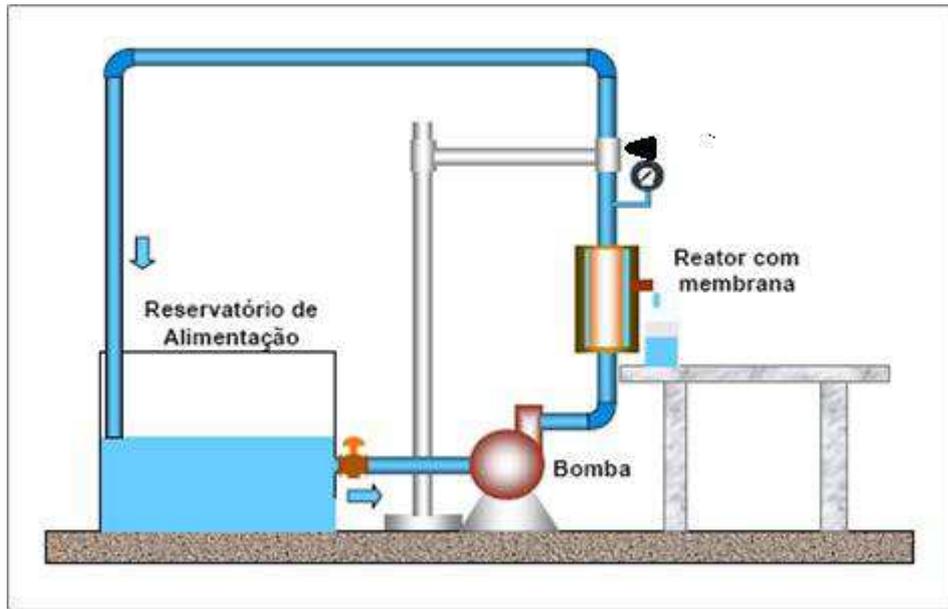


Figura 20 – Esquema do sistema aplicado em escala de laboratório para o processo de microfiltração da água-de-coco. Fonte: SILVA (2006).

Os módulos de microfiltração são normalmente instalados na vertical para reduzir a sedimentação de partículas na superfície das membranas, (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Utilizou-se uma bomba e uma válvula para ajustar a pressão do sistema, e fazer circular o líquido a ser filtrado pela membrana. Ao mesmo tempo, coletou-se o permeado em recipiente volumétrico estéril (de peso conhecido). Na Figura 21 pode ser visto o sistema em nível laboratorial utilizado neste experimento.

O processo foi realizado em regime de batelada com recirculação da corrente não-permeada, sendo o permeado colhido continuamente. O fluxo permeado foi avaliado em intervalos de cinco em 5 minutos ( $\Delta t$ ) para um volume coletado ( $V$ ), conforme a equação:

$$J=V/(A \times \Delta t) \quad (1)$$

Sendo  $A$ , a área de permeação da membrana, neste caso igual a  $11,6\text{cm}^2$  ( $1,16 \times 10^{-3}\text{m}^2$ ).

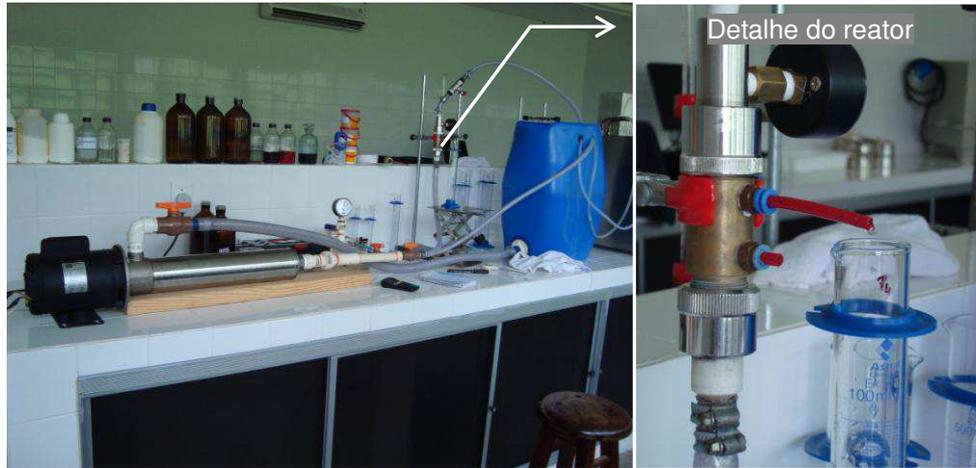


Figura 21 – Sistema de microfiltração montado em nível laboratorial.

Os experimentos foram realizados em temperatura variando de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , com diferença de pressão aplicada à membrana igual a 3,0 e  $8,0\text{kgf/cm}^2$ , empregando uma bomba Booster, de marca Dancor, modelo 1.1 B19, e utilizando membranas cerâmicas tubulares de microfiltração, de alumina e cordierita, confeccionadas em laboratório pelo grupo de membranas cerâmicas do LABDES/DEMA/CCT/UFCG; duas membranas comerciais de microfiltração com poros de 0,20 e  $0,45\mu\text{m}$  da Kerasep<sup>®</sup> e uma membrana de ultrafiltração comercial da Rhodia Francesa, em sistema com cerca de  $11,6\text{cm}^2$  de área. A vazão de circulação da alimentação foi mantida constante e igual a  $2000\text{L/h}$ .

#### 4.6 Caracterização das membranas utilizadas

O conhecimento da estrutura de uma membrana e sua relação com as propriedades de transporte é importante para uma melhor compreensão dos fenômenos envolvidos nos problemas de separação, fornecendo informações que permitem a seleção da melhor estrutura para uma dada separação. No caso das membranas porosas de microfiltração utilizadas neste estudo, o tamanho dos poros e a sua distribuição irão determinar quais moléculas ou partículas serão retidas pela membrana e quais poderão passar através de seus poros.

As membranas utilizadas neste estudo foram caracterizadas pelo seu tamanho médio de poro, medido em micrômetro ( $\mu\text{m}$ ), através de Microscopia Eletrônica de Varredura e por Porosimetria ao Mercúrio, realizadas por Silva (2006) e França (2006).

As membranas de ultrafiltração apresentam poros menores, sendo impossível sua medição visual. Em função disso, estas membranas são caracterizadas pela sua retenção a solutos com pesos moleculares específicos ou peso molecular de corte (“cut off”). Ou seja, se uma membrana de ultrafiltração apresenta peso molecular de corte igual a 15KD, significa que ela não permite a permeação de solutos com peso molecular igual ou maior que 15KD (MAGALHÃES, 2005). Conforme dados do fabricante a membrana M8 apresenta ponto de corte de 15KD.

A Tabela 3 apresenta um resumo das membranas cerâmicas utilizadas neste estudo, com o material usado na obtenção das membranas, os diâmetros médios dos poros e a porosidade.

Tabela 3 – Diâmetro médio dos poros e porosidade por tipo de membranas

<b>Membrana</b>	<b>Material de composição</b>	<b>Diâmetro médio dos poros (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Porosidade (%)</b>
M1	Cordierita	1,430	28,72
M2	Cordierita	2,213	29,11
M3	Cordierita	3,299	27,68
M4	Cordierita	4,070	24,34
M5	Alumina	0,74	45,45
M6	Alumina e titânia	0,20	Não informado
M7	Alumina e titânia	0,45	Não informado
M8	Zircônia	15KD*	Não informado

\*ponto de corte

## 4.7 Análises

### 4.7.1 Análises do processo em geral

Antes de efetuar o processo de micro ou ultrafiltração foram realizadas análises microbiológicas e físico-químicas da água-de-coco, de forma a obter a caracterização do produto e sua carga microbiana inicial (antes da microfiltração). Também foram feitas análises após o processamento tanto no permeado quanto no retido, verificando a retenção ou não da carga microbiana e suas principais características físico-químicas.

### 4.7.2 Análises Microbiológicas

#### 4.7.2.1 Preparo das amostras

Ao efetuar a abertura do fruto, a água é extraída vertendo o coco, aberto com furador esterilizado, em recipiente dotado de peneira para retirada de pedaços residuais da casca. Neste momento é retirada uma amostra que caracterizará a água-de-coco verde “in natura”. Seguindo ao processamento, o sistema é abastecido e efetuado o ensaio. Ao término são retiradas amostras a serem analisadas microbiologicamente antes e após a micro ou ultrafiltração.

Os procedimentos experimentais utilizados foram: usando pipetas graduadas e devidamente esterilizadas, obteve-se a diluição  $10^0$  diretamente da amostra, e com 1mL desta água-de-coco diluída em 9mL de água peptonada 0,1% assepticamente, obteve-se a diluição  $10^{-1}$ , e a partir desta diluição com 1mL adicionado a 9mL de água peptonada 0,1%, obteve-se a diluição  $10^{-2}$ . Partindo das diluições, as amostras foram identificadas com data e tratamento seguindo-se a técnica recomendada pela American Public Health Association (1985). Para as inoculações nos meios apropriados foi seguido a técnica de espalhamento em placas e do Número Mais Provável (NMP), conforme esquema da Figura 22 a seguir:

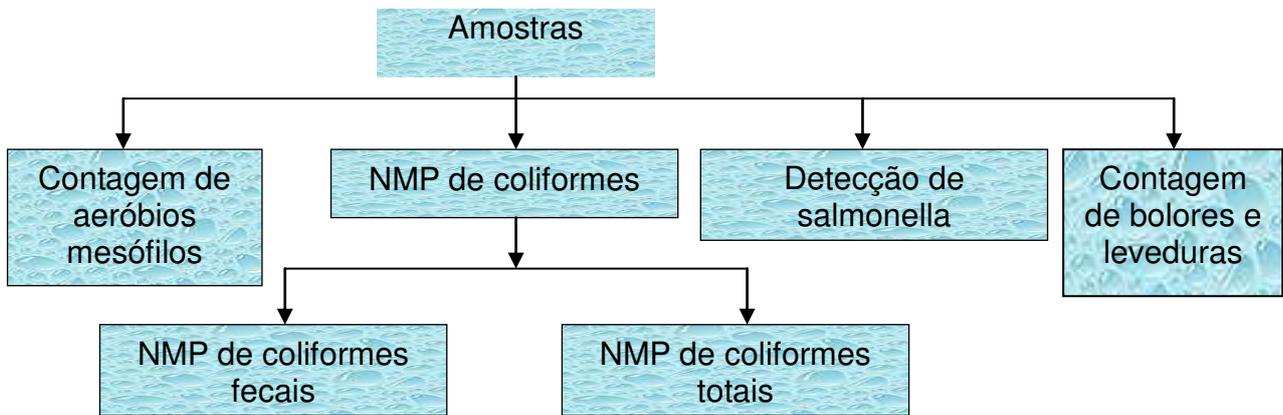


Figura 22 - Fluxograma geral do preparo das análises microbiológicas realizadas

#### 4.7.2.2 Contagem total de aeróbios mesófilos

Para a contagem de aeróbios mesófilos através de unidades formadoras de colônias por mL de alimento (UFC/mL), utilizou-se o método de plaqueamento em profundidade, colocando-se 1 mL de cada diluição em placas de Petri estéreis, em duplicata, adicionando o meio de cultura “Plate Count Agar” (PCA, Merck), previamente preparado, esterilizado e resfriado a 45°C, em seguida incubando-as a 35°C ± 1°C por 48 horas. Conforme pode ser visualizado na Figura 23.

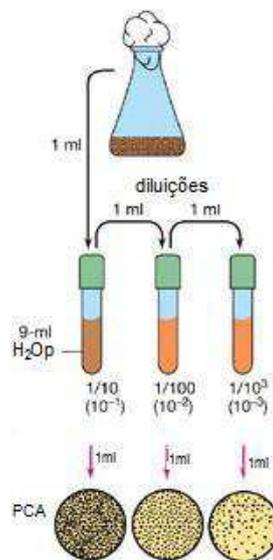


Figura 23 - Esquema da contagem de bactérias mesófilas

#### 4.7.2.3 Contagem de bolores e leveduras

Para a contagem de bolores e leveduras através de unidades formadoras de colônias por mL de alimento (UFC/mL), utilizou-se o método de espalhamento em superfície (“spread plate”), colocando-se 1mL de cada diluição em placas de Petri estéreis, em duplicata, utilizando-se o meio de cultura “Plate Count Agar” (PCA, Merck), em seguida incubando-as a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 48 horas. Conforme pode ser visualizado na Figura 24.

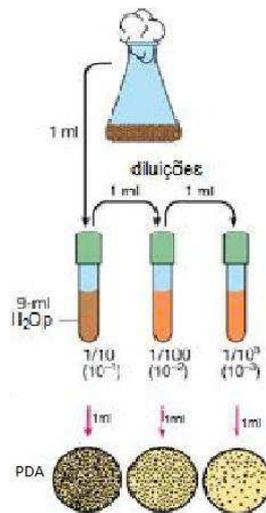


Figura 24 - Esquema da contagem de bolores e leveduras

#### 4.7.2.4 Detecção de salmonella

Para a detecção de salmonella, foi transferida uma porção de 25mL da amostra para um frasco de homogeneização, previamente esterilizado com 225mL de caldo lactosado de pré-enriquecimento, homogeneizado e incubado a  $35^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, conforme esquema da Figura 25. Em seguida foi feito o enriquecimento seletivo, agitando o frasco com o caldo de pré-enriquecimento e transferindo 1,0mL para cada 10mL de caldo tetracionato (TT) e 1,0mL para cada 10mL de caldo Selenito Cistina (SC). Incubou-se ambos a  $35^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Após o enriquecimento foi feita confirmação estriando uma

alçada do caldo TT em placas de Agar Rambach. Da mesma forma foi feito o estriamento do caldo SC e incubado a 35°C por 24 horas. A detecção foi verificada com o desenvolvimento de colônias com centro vermelho, típicas de *Salmonella*.

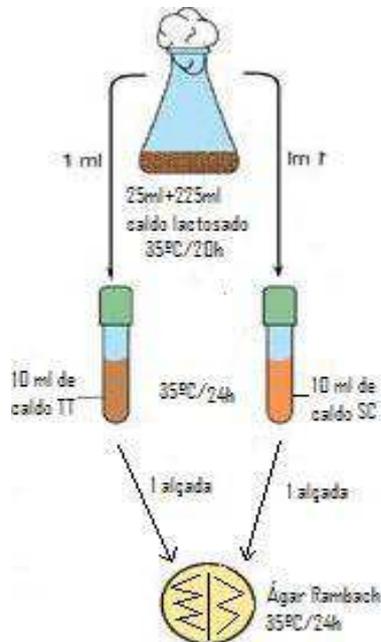


Figura 25 - Esquema da detecção de salmonella

#### 4.7.2.5 Determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes totais e fecais

De acordo com a metodologia da “American Public Health Association”, (VANDERZANT, 1992), para o teste presuntivo de Coliformes fecais e totais, as enumerações foram feitas através da técnica de tubos múltiplos ou NMP, nas diluições  $10^0$ ,  $10^{-1}$  e  $10^{-2}$ , utilizando-se o meio de cultura Caldo Lauril Sulfato Tryptose (CLST, Merck), conforme esquema da Figura 26. Seguindo-se para o teste confirmativo, a partir de cada tubo positivo (presença de turvação e gás no interior dos tubos de fermentação), inoculou-se uma alçada em Caldo Lactose Bile 2% Verde Brilhante (CLBVB, Merck) para a confirmação e obtenção do número mais provável de Coliformes totais, e em Caldo para *E. coli* (EC, Merck) para a obtenção do número mais provável de Coliformes fecais. Obtendo o resultado do NMP com intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade

para as combinações de tubos positivos, conforme tabela constante no “Bacteriological Analytical Manual”, citado por SILVA (1997).

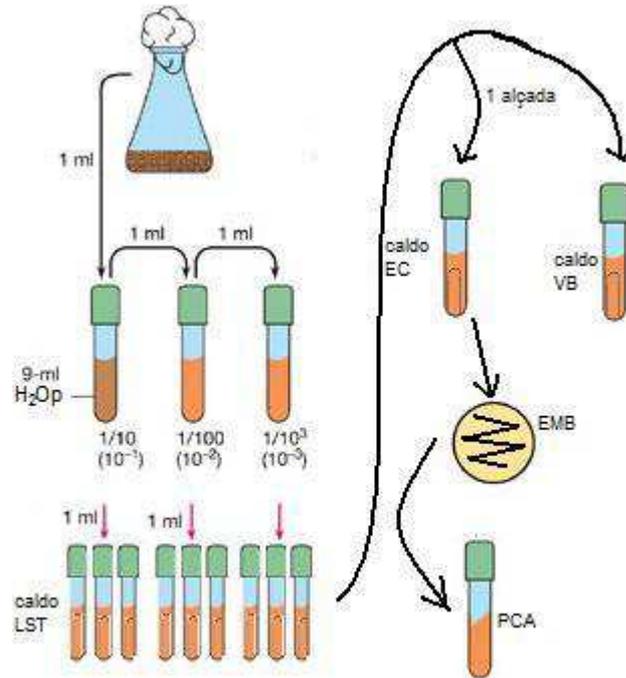


Figura 26 - Esquema da determinação do Número Mais Provável de coliformes

### 4.7.3 Análises físico-químicas

#### 4.7.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado em potenciômetro microprocessado de campo, da PHTEK, com precisão de  $\pm 0,1$  e medido diretamente após calibração deste em soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, utilizando-se 10mL da amostra, conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

#### 4.7.3.2 Sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix)

Determinou-se o índice de refração, correspondente à concentração de sólidos solúveis, pelo método de refratometria, utilizando-se o refratômetro de campo da marca ATAGO e os resultados foram expressos em graus Brix ( $^{\circ}$ Bx).

#### 4.7.3.3 Açúcares redutores, em glicose e não-redutores, em sacarose.

Os valores de açúcares redutores, em glicose e não-redutores, em sacarose foram determinados pelo método de Lane e Enyon como descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

#### 4.7.3.4 Acidez

Os teores de acidez foram obtidos pelo método titulométrico, de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), que se fundamenta na neutralização por solução de NaOH 0,1N até pH 8,3. Os resultados foram expressos em acidez em solução normal por cento v/v.

#### 4.7.3.5 Proteínas

Os valores de proteínas foram obtidos pela determinação de nitrogênio através do processo de digestão de Kjeldahl, conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

### **4.8 Limpeza da membrana após uso com água-de-coco**

Para a limpeza prévia das membranas cerâmicas foi usada primeiramente uma imersão em água destilada logo após o uso, seguida de várias lavagens em água corrente. Em seguida, foi montado o sistema e feita à recirculação da água destilada por mais cinco minutos. Foi então desmontado o sistema e extraída a água destilada, montando-o novamente e efetuando a recirculação de solução de NaOH à 0,5% de concentração na pressão de 1,0 kgf/cm<sup>2</sup> durante 5 minutos. Por fim foi feita a lavagem com água destilada microfiltrada por cinco minutos, e secada em estufa à 105°C por duas horas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Determinação do ponto de colheita do coco para extração da água

Na Tabela 4 podem ser vistos os resultados do acompanhamento do estágio de maturação do coco, desde o início da floração natural até 12 meses. Os resultados foram obtidos mês a mês.

Tabela 4 – Acompanhamento do estágio de maturação da água do coco verde ano\*

<b>Mês</b>	<b>Água (g)</b>	<b>pH</b>	<b>Brix (°bx)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>
1º	3,65±1,53	5,91±0,13	2,81±0,23	0,32±0,14	47,05±9,41	73,86±6,65
2º	38,17±19,75	5,61±0,10	2,89±0,20	0,21±0,04	67,33±8,70	101,41±19,33
3º	182,59±41,14	5,15±0,10	3,25±0,27	0,29±0,04	106,95±8,70	132,67±6,95
4º	413,33±84,31	4,97±0,05	4,38±0,32	0,37±0,07	137,48±8,40	150,21±9,79
5º	485,44±77,82	5,10±0,11	5,33±0,25	0,36±0,09	151,60±7,66	164,77±9,46
6º	407,28±76,36	5,57±0,13	6,62±0,45	0,31±0,04	153,41±8,94	185,36±9,38
7º	363,19±66,90	5,63±0,08	6,34±0,28	0,36±0,03	151,55±7,66	186,73±8,49
8º	319,10±74,77	5,68±0,10	6,06±0,36	0,42±0,05	149,68±10,29	188,10±14,70
9º	271,54±53,82	5,80±0,10	5,39±0,25	0,35±0,03	152,02±10,18	201,32±14,37
10º	221,84±51,89	5,91±0,15	4,74±0,31	0,28±0,05	155,67±12,48	214,48±28,34
11º	210,25±53,08	6,01±0,18	4,79±0,36	0,20±0,08	152,44±8,48	201,47±16,56
12º	214,23±52,68	5,94±0,14	4,58±0,45	0,20±0,01	154,53±10,20	216,58±28,29

\*Média ± estimativa do desvio padrão de 30 repetições.

A água-de-coco, apesar de pequena quantidade, começa a se formar no primeiro mês depois do fenômeno da fertilização. No 5º mês tem-se as maiores produções de água, a partir daí ocorre um decréscimo acentuado de seus volumes, devido ao processo natural de maturação fisiológica do fruto, ocasionando perda de água por evaporação e principalmente pela absorção da água pelo albúmen sólido para formação da maçã do fruto, que servirá de reserva nutritiva tanto do embrião, quanto da plântula. Assis et al.(2000) determinaram um fator de conversão de peso do fruto (g) para volume de água (mL) igual a 0,245 para frutos de 7 meses. Esse fator quando multiplicado pelo peso do fruto fornece o volume aproximado de água na cavidade do fruto. Assim, o fruto que com sete meses possui 363mL pesa aproximadamente 1,5Kg. Ou seja, cerca de 1,1Kg de embalagem para transportar menos de 400mL de água-de-coco.

Na Figura 27 pode-se facilmente perceber que o melhor período de colheita do coco para comercializar a água está no 5º mês, quando se encontra a maior quantidade de água possível.

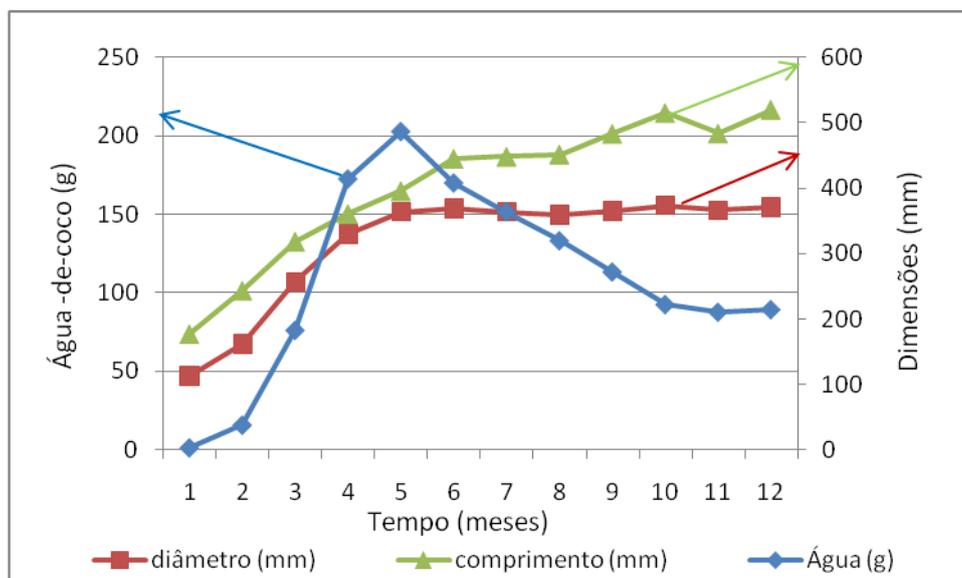


Figura 27 – Variação do peso de água e das dimensões do coco no ano.

Percebe-se um aumento do peso da água dentro do coco ao longo dos 5 primeiros meses (Figura 27), iniciando um declínio a partir do 6º mês, quando se inicia a formação do albúmen sólido. Segundo Aragão et al (1998), os frutos do coqueiro anão para consumo de água-de-coco devem ser colhidos, preferencialmente, entre o 6º e o 7º mês, após a abertura natural da inflorescência, independentemente da cultivar de coqueiro considerada. Nesses períodos ocorrem maiores pesos de fruto (Aragão e Cruz, 1999) e as maiores produções de água-de-coco, além das características sensoriais serem superiores (Aragão et al, 1997).

Na Figura 28 verifica-se que o °brix e o pH mais favoráveis ao paladar se encontram no 6º mês de idade do fruto. Conhecendo-se o nível das variações na composição química da água-de-coco pode-se fornecer orientação na seleção dos frutos destinados à industrialização, uma vez que estas variações podem resultar em produtos de diferentes qualidades (SREBERNICH, 1998).

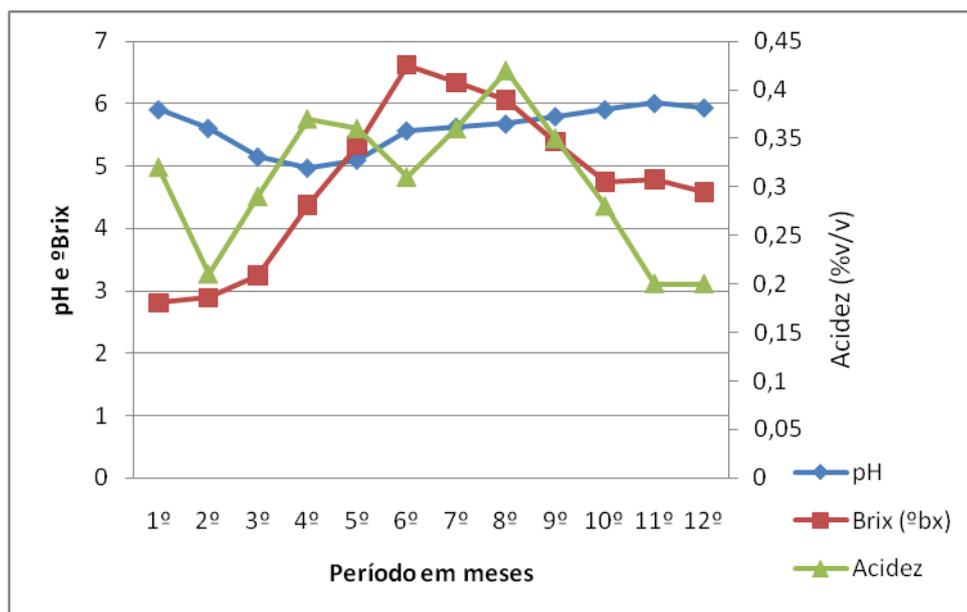


Figura 28 – Variação do pH, brix e acidez da água-de-coco no ano.

O pH da água-de-coco varia de acordo com a idade do fruto, sendo que, a partir do 5º mês observa-se uma elevação acima de 5,0 até o final do crescimento do fruto, quando

o pH está bem próximo a 6,0. Srebernich (1998) afirma que o principal ácido presente na água-de-coco é o ácido málico. Outros ácidos estão presentes, porém representam muito pouco na composição da água-de-coco. A legislação brasileira permite a adição de ácido cítrico para correção da acidez no caso da água-de-coco submetida a algum processo tecnológico de conservação (BRASIL, 2009).

Avaliando os resultados encontrados, observa-se que se tratando do coco verde anão da Região de Sousa-PB, o período mais adequado para colheita do coco destinado a extração da água, encontra-se entre o 5º e o 6º mês após a inflorescência natural, quando verifica-se um maior teor de água no fruto, o aumento do °brix e a redução do pH, indicando o período ideal para consumo da água-de-coco verde, originando sabor leve e adocicado.

Segundo Aragão (2000), algumas pesquisas revelam que ocorre uma queda de apenas 2% nos teores de açúcares da água-de-coco, no intervalo de 7 a 12 meses. Isso acontece porque, quando os frutos são verdes, as unidades de sacarose não estão combinadas, havendo quantidade suficiente de frutose livre (a frutose tem teor de doçura maior do que a sacarose). Com o passar do tempo, a glicose e a frutose se combinam formando a sacarose, favorecendo a queda no teor de açúcar.

Na análise da água-de-coco em oito estágios progressivos de maturação (a partir do quinto mês), observou-se acentuada redução no volume de água, no teor de doçura da água-de-coco com a redução dos sólidos totais (redução do teor de °brix), porém pH e acidez sem muitas alterações e um aumento contínuo nas dimensões do fruto.

## **5.2 Análise dos tratamentos de higienização do coco para processo de extração da água**

Como dito anteriormente (na metodologia), foram utilizados três tipos de tratamento de higienização dos cocos, sendo T1 realizado sem tratamento algum. Os resultados das análises microbiológicas da higienização dos cocos estão contidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados das análises microbiológicas da higienização dos cocos

Tratamento	Análises microbiológicas			
	Mesófilas (UFC/mL)	Colif. Totais (NMP/mL)	Colif. Fecais (NMP/mL)	Salmonella
T1	1,0x10 <sup>2</sup>	2,8	2,1	Ausente
T2	2,0x10	0,7	0,3	Ausente
T3	4,0x10	1,5	1,5	Ausente
T4	<10	<0,3	<0,3	Ausente

UFC=Unidade Formadora de Colônias, NMP=Número mais provável com intervalo de confiança de 95% de probabilidade.

Observa-se um aumento na contaminação da água-de-coco extraída do fruto que sofreu higienização com esponja e detergente (T3). Acredita-se que esta contaminação pode ter sido originária da esponja utilizada no ato da higienização, uma vez que a mesma já havia sido utilizada anteriormente, efetuando assim a contaminação da superfície externa do fruto, ao invés de eliminá-la, o que vem a confirmar que a carga microbiana existente na superfície externa ao fruto promove sim a contaminação da água ao ser extraída. Logo, sugere-se que o tratamento T4 é o mais eficiente na redução da carga microbiana. Sendo então, a melhor alternativa para higienização dos cocos o uso do banho de imersão dos cocos em solução de água clorada a 100ppm por 20 minutos, logo após a lavagem dos cocos com detergente e esponja virgem (sem uso) para retirada das sujidades oriundas do campo.

### 5.3 Análise das características físico-químicas da água-de-coco

Para verificar se houve alterações nas características físico-químicas da água-de-coco, foram efetuadas análises, antes de efetuar a micro ou ultrafiltração e após o processamento, nas amostras envasadas, armazenadas sob refrigeração por 5 dias.

A água-de-coco corresponde a aproximadamente 20% do peso do fruto, e sua composição básica apresenta em média 93% de água, 5% de açúcares, além de traços de proteínas, sais minerais (cinzas), sendo uma bebida leve, refrescante e pouco calórica, apresentando em média 25 Kcal/100 mL.

Na Tabela 6 podem ser vistos os resultados das análises físico-químicas da água-de-coco processada (micro ou ultrafiltrada) e no fruto (tanque), refrigeradas, realizadas para efeito de controle e estabelecimento do padrão de qualidade do produto. Os dados da amostra do tanque são referentes à média e o desvio padrão de todas as amostras retiradas antes de cada ensaio. Estabelecendo assim, a caracterização da qualidade físico-química da água-de-coco extraída do fruto da Região de Sousa-PB, coletados entre 5 e 6 meses de idade.

Observa-se que o teor de umidade é muito grande, variando de 93 a 95%, essa disponibilidade de água em abundância, assim como a presença de macronutrientes como carboidratos, proteínas, lipídeos; micronutrientes como vitaminas e minerais e a qualidade do ar é responsável pela manutenção do equilíbrio fisiológico da vida humana ou dos microrganismos. A água, como solvente universal, serve, por exemplo, para transportar os nutrientes para todo o espaço intracelular e para solubilizar nutrientes que na sua forma original não poderiam ser aproveitados pelos microrganismos. Sendo assim propicia o fácil ataque microbiano logo após abertura do fruto, quando a água entra em contato com a superfície externa ao epicarpo e com o ambiente atmosférico.

Tabela 6 – Resultados das análises físico-químicas da água-de-coco verde antes e após processamento\*.

	<b>pH</b>	<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Açúcar redutor (%)</b>	<b>Açúcar não redutor (%)</b>
<b>Tanque</b>	5,12±0,34 <sup>a</sup>	6,67±0,70 <sup>a</sup>	94,20±0,07 <sup>a</sup>	0,38±0,02 <sup>a</sup>	0,187±0,025 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,36±0,21 <sup>a</sup>	4,62±0,31 <sup>a</sup>	0,36±0,14 <sup>a</sup>
<b>M1</b>	4,83±0,06 <sup>a</sup>	6,60±0,00 <sup>a</sup>	93,82±0,01 <sup>b</sup>	0,35±0,02 <sup>a</sup>	0,267±0,067 <sup>a</sup>	0,06±0,00 <sup>b</sup>	0,15±0,04 <sup>a</sup>	5,11±0,06 <sup>a</sup>	0,50±0,10 <sup>a</sup>
<b>M2</b>	4,79±0,08 <sup>a</sup>	6,67±0,12 <sup>a</sup>	93,60±0,25 <sup>b</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,203±0,021 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,18±0,06 <sup>a</sup>	5,44±0,25 <sup>b</sup>	0,32±0,08 <sup>a</sup>
<b>M3</b>	4,71±0,28 <sup>a</sup>	6,00±0,35 <sup>a</sup>	93,25±0,06 <sup>c</sup>	0,34±0,02 <sup>b</sup>	0,243±0,058 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,24±0,06 <sup>a</sup>	5,68±0,15 <sup>b</sup>	0,41±0,07 <sup>a</sup>
<b>M4</b>	5,79±0,48 <sup>a</sup>	6,73±0,64 <sup>a</sup>	93,20±0,00 <sup>c</sup>	0,40±0,01 <sup>a</sup>	0,317±0,006 <sup>b</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,06±0,02 <sup>a</sup>	5,83±0,09 <sup>b</sup>	0,45±0,12 <sup>a</sup>
<b>M5</b>	5,40±0,17 <sup>a</sup>	6,23±0,25 <sup>a</sup>	93,67±0,58 <sup>a</sup>	0,33±0,03 <sup>a</sup>	0,193±0,061 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,19±0,02 <sup>a</sup>	5,31±0,07 <sup>b</sup>	0,45±0,10 <sup>a</sup>
<b>M6</b>	5,20±0,21 <sup>a</sup>	6,27±0,76 <sup>a</sup>	93,90±0,02 <sup>c</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,240±0,056 <sup>a</sup>	0,06±0,02 <sup>b</sup>	0,13±0,04 <sup>a</sup>	5,09±0,07 <sup>a</sup>	0,44±0,08 <sup>a</sup>
<b>M7</b>	5,03±0,09 <sup>a</sup>	6,33±0,46 <sup>a</sup>	93,69±0,05 <sup>c</sup>	0,35±0,00 <sup>b</sup>	0,180±0,050 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,17±0,04 <sup>a</sup>	5,25±0,21 <sup>b</sup>	0,46±0,22 <sup>a</sup>
<b>M8</b>	5,33±0,15 <sup>a</sup>	6,47±0,76 <sup>a</sup>	93,36±0,07 <sup>c</sup>	0,37±0,01 <sup>a</sup>	0,200±0,026 <sup>a</sup>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,27±0,06 <sup>a</sup>	5,40±0,35 <sup>b</sup>	0,53±0,24 <sup>a</sup>

\*Média ± estimativa do desvio padrão de triplicatas; Letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras.

As amostras de água-de-coco analisadas apresentaram valores médios de pH variando de 4,7 a 5,8, em conformidade com os valores encontrados por Rosa e Abreu (2000). A microbiota de alimentos pouco ácidos ( $\text{pH} > 4,5$ ) é muito variada, havendo condições para o desenvolvimento da maioria das bactérias, bolores e leveduras. Por isso a água-de-coco se torna importante meio de cultura para microrganismos, se fazendo necessário a análise microbiológica do produto em estudo.

As amostras de água-de-coco tiveram seus valores de pH acima de 4,7. Esse valor de pH é susceptível à proliferação de bactérias patogênicas, inclusive *Clostridium botulinum*, pois o pH mínimo para multiplicação das cepas varia entre 4,8 e 5,0, segundo Banwart (1989). Observa-se nos resultados referentes ao pH que nenhuma das amostras apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade. Todas as amostras, com exceção da amostra M4, apresentam-se dentro dos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa n.º 27 de 22 de julho de 2009 (BRASIL, 2009), para água-de-coco esterilizada que estabelece pH mínimo de 4,6 e máximo de 5,4, porém fora dos padrões para amostras de água-de-coco resfriadas, pasteurizadas e congeladas que deve apresentar pH entre 4,3 e 4,5.

O teor de sólidos solúveis oscilou entre as amostras estudadas de 6,0 a 6,7ºBrix. Estes resultados ficaram um pouco acima dos resultados encontrados por Rosa e Abreu (2000), no entanto estão muito próximos dos resultados encontrados por Krishnankutty (1987), e confirmando o excelente sabor adocicado da água-de-coco da região de Sousa.

As amostras de água-de-coco verde apresentaram valores médios de açúcares redutores variando de 4,6% a 5,8%. Oliveira et al. (2001) no estudo do aproveitamento da água-de-coco seco para a produção de água-de-coco longa vida encontrou teores de açúcar da ordem de 3,3% para água-de-coco "in natura" e 4,38% para a água-de-coco

industrializada. Krishnankutty (1987) encontrou valores de açúcares redutores na ordem de 0,2% para água-de-coco madura e 4,4% para água-de-coco verde.

Os traços encontrados de açúcares não-redutores demonstram que as amostras encontram-se em estágio inicial de maturação, onde a frutose e a glicose (açúcares redutores) predominam, e quase não se encontra a sacarose (açúcar não-redutor). Constatando que a colheita do fruto foi feita até o 7º mês, fase ideal para comercialização de água-de-coco verde, segundo Silva (2003), pois se encontra uma maior quantidade de frutose livre (teor de doçura maior que a sacarose), tornando a água mais doce.

O teor de cinzas variando de 0,34 a 0,40% demonstra se tratar de um alimento rico em sais minerais. Apesar de não ter sido feita a análise dos constituintes minerais contidos na água-de-coco, Rosa e Abreu (2000) em seus estudos, encontraram quantidades razoáveis de fósforo (7,4mg/100g), cálcio (17,1mg/100g), sódio (7,05mg/100g), potássio (156,86mg/100g) e ainda magnésio, manganês e ferro.

Os teores médios de acidez da água-de-coco verde “in natura” e processada variaram de 0,180 a 0,317%(v/v). Rosa e Abreu (2000) encontraram o valor médio acima (1,11%v/v) e Krishnankutty (1987) encontrou um valor mais próximo (0,6%) para a água-de-coco.

Os teores de proteínas encontrados nas amostras de água-de-coco verde variaram de 0,06 a 0,08% (Tabela 6). Estes valores estão de acordo com os obtidos por Krishnankutty (1987), assim como os de Rosa e Abreu (2000). Este baixo valor torna a água-de-coco um produto pobre em proteínas, e portanto indicado para auxiliar na dieta de pacientes em recuperação que necessitam absorver sais minerais e controlar a ingestão de proteínas.

A análise de variância e teste de médias de Tukey mostrou que as amostras estudadas não apresentaram diferença significativa em relação à água-de-coco “in

natura”, apesar da amostra-controle (tanque) apresentar maiores médias, em termos absolutos, em relação à maioria dos atributos avaliados.

Os teores de açúcares redutores apresentaram diferença significativa de 5% de probabilidade entre algumas das amostras. As amostras: tanque, M1 e M6 apresentaram os menores valores de açúcares redutores, possivelmente, devido às variações dos estágios de maturação dos frutos. Não sendo, portanto atribuída essa variação aos diferentes processos, pois os mesmos não permitiriam a retenção de açúcares pelas membranas.

Pode-se então concluir que não houve alterações significativas das características físico-químicas da água-de-coco “in natura” após o processamento de microfiltração com membranas cerâmicas. Isto mostra que o tratamento se adéqua a manutenção das propriedades nutricionais da água-de-coco, comprovando o que os dados do Quadro 3 de Schneider e Tsutiya (2001) retrata, quando afirma que no processo de microfiltração poderia ser retida pela membrana a maioria das bactérias, microalgas, algas, protozoários, eritrócitos, areia, etc, e permeariam pela membrana a maioria das proteínas, sais minerais, polissacarídeos, aminoácidos e ácidos orgânicos.

#### **5.4 Análise da carga microbiana antes e após a microfiltração**

Para avaliar a eficiência do processo na remoção dos microrganismos contaminantes da água-de-coco é necessário analisar o produto antes e após o processamento. Na Tabela 7 encontram-se os resultados das análises microbiológicas das águas de coco processadas (micro ou ultrafiltradas), retidas (tanque) e “in natura” (no fruto) armazenadas em garrafas plásticas durante cinco dias, sob refrigeração.

Tabela 7 - Análises microbiológicas da água-de-coco processada e “in natura”, com cinco dias de armazenamento sob refrigeração a 5°C.

	<b>Mesófilas (UFC/mL)</b>	<b>Bolores (UFC/mL)</b>	<b>Coliformes totais (NMP/mL)</b>	<b>Coliformes fecais (NMP/mL)</b>	<b>Salmonella</b>
<b><i>In natura</i></b>	5,7x10	<10	2,1	<0,3	Ausente
<b>Tanque</b>	2,4x10 <sup>4</sup>	5,5x10 <sup>4</sup>	≥240	110	Ausente
<b>M1</b>	<10	5,0x10	24	<0,3	Ausente
<b>M2</b>	1,9x10 <sup>4</sup>	>6,5x10 <sup>5</sup>	≥240	<0,3	Ausente
<b>M3</b>	3,1x10 <sup>2</sup>	9,2x10 <sup>2</sup>	110	<0,3	Ausente
<b>M4</b>	2,3x10 <sup>3</sup>	2,2x10 <sup>5</sup>	≥240	110	Ausente
<b>M5</b>	9,0x10 <sup>2</sup>	<10	0,9	<0,3	Ausente
<b>M6</b>	<10	<10	4,3	<0,3	Ausente
<b>M7</b>	3,0x10	<10	0,9	<0,3	Ausente
<b>M8</b>	1,81x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>2</sup>	2,3	<0,3	Ausente

UFC=Unidade Formadora de Colônias, NMP=Número mais provável com intervalo de confiança de 95% de probabilidade.

Nas análises das amostras de água-de-coco processada foram encontrados resultados de Número Mais Provável (NMP) de coliformes fecais e totais variando de menos que 0,3NMP/mL a valores acima de 240NMP/mL. Já para a contagem de microrganismos aeróbios mesófilos foram encontrados valores inferiores a 10UFC/mL até 2,4x10<sup>4</sup>UFC/mL na água-de-coco analisada. Porém, não foi detectada a presença de *salmonella* em nenhuma das amostras de água-de-coco.

Os coliformes constituem um grupo de enterobactérias presentes nas fezes e no ambiente, como o solo e as superfícies de vegetais, animais e utensílios. Sua pesquisa em alimentos é utilizada como indicador seguro das condições higiênicas do produto e

Andréa de Lucena Lira

ainda presença de enteropatógenos (FRANCO e LANDGRAF, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2003). Verifica-se que nas análises das amostras de água-de-coco verde foram encontrados resultados de Número Mais Provável de coliformes totais na ordem de 0,9 a superior a 240NMP/mL, porém foram encontrados coliformes fecais em apenas algumas das amostras, obtendo na maioria resultados inferiores a 0,3 NMP/mL. Apenas a água-de-coco retida no sistema (Tanque) e a permeada na membrana M4 apresentaram 110 NMP/mL em desacordo com a legislação vigente, portanto fora dos padrões microbiológicos da Instrução Normativa N<sup>o</sup> 27, de 22 de julho de 2009, que estabelece os padrões microbiológicos da água-de-coco para consumo com resultados de coliformes a 45°C (*Coliformes fecais*) inferiores a 1UFC/mL.

A contagem de bactérias aeróbias mesófilas é utilizada para indicar qualidade sanitária dos alimentos, e um elevado número destes microrganismos no alimento é indicador de insalubridade, mesmo que os patógenos estejam ausentes e que não tenham ocorrido alterações nas condições sensoriais do alimento.

Todas as bactérias patogênicas de origem alimentar são mesófilas. No entanto, um número elevado de mesófilos que crescem à temperatura ambiente significa que houve condições para que estes patógenos se multiplicassem (FRANCO e LANDGRAF, 2003).

Não há um padrão microbiológico na legislação brasileira em vigor para bactérias aeróbias mesófilas (BRASIL, 2001). Mas, a *American Public Health Association* (APHA) sugere um padrão de até  $10^4$  UFC/mL para estes agentes (MASSAGUER, 2006). No presente estudo foi encontrada alta contagem de bactérias aeróbias nas amostras do tanque e da membrana M2, indicando uso de matéria-prima contaminada para a amostra do tanque, e um processamento inadequado, ou ainda armazenamento insatisfatório, relacionado ao tempo e temperatura, para a amostra M2. Como o armazenamento foi o mesmo para todas as amostras, e nem todas apresentaram esta contaminação, pode-se

concluir que este resultado tenha ocorrido devido à proposital falta de higienização dos frutos antes da abertura (uma vez que a intenção do estudo não era de eliminar a carga microbiana por higienização e sim pelo processo de microfiltração), e ainda durante o processo de microfiltração da água já contaminada no tanque, permitir a passagem de parte dessa carga por uma possível microfissura na membrana M2.

Os bolores e leveduras são responsáveis pela deterioração de sucos de frutas, alimentos congelados, desidratados e em conserva, quando armazenados em condições inadequadas. Seu crescimento é favorecido pelo meio de baixa acidez e alta atividade de água (FRANCO e LANDGRAF, 2003), como no caso da água-de-coco que tem uma acidez muito leve em torno de 0,22% em solução normal, um pH muito próximo a 5,0 e uma elevada taxa de umidade, acima de 93%.

Os bolores são importantes agentes fitopatogênicos, causando sensíveis perdas ou reduções nas produções de sucos e frutas. Em função de seu desenvolvimento nestes alimentos, podem comprometer de forma significativa a qualidade dos produtos derivados destas matérias-primas. A deterioração se faz perceptível apenas quando o crescimento de bolor for visível ou o alimento apresentar um número elevado de leveduras, sendo que a deterioração por leveduras costuma não ser prejudicial à saúde (FRANCO e LANDGRAF, 2003; SANTOS e RIBEIRO, 2006).

Os dados obtidos evidenciam a presença de bolores e leveduras nas amostras do tanque, da membrana M1, M2, M3, M4 e na de ultrafiltração (M8), tornando-as impróprias para consumo quando comparadas à legislação, já que a mesma estabelece limite máximo de 20UFC/mL para bolores e leveduras. Esta presença é justificada na água-de-coco verde permeada nessas membranas, devido ao tamanho de poros das membranas serem maiores que os microrganismos em questão, ou até mesmo defeitos na estrutura da membrana, o que permite a passagem deles junto com o fluido permeado.

Sabe-se que a água-de-coco verde ainda dentro do fruto é estéril, porém deficiências dos aspectos higiênico-sanitários advindos das etapas de lavagem e manipulação dos frutos, assim como limpeza e sanitização dos equipamentos de estocagem e conservação, podem disseminar a contaminação e proliferação de microrganismos tornando o produto impróprio para consumo humano. Santos et al. (2001) encontraram resultados indicativos de contaminação nas águas de coco refrigeradas, vendidas nas ruas e nos pontos comerciais na cidade de Aracajú. Hoffman et al (1999) encontraram 25% das diferentes amostras de água-de-coco comercializadas no município de São José do Rio Preto – SP em desacordo com a legislação brasileira vigente.

Neste estudo foi utilizada uma membrana comercial de ultrafiltração com ponto de corte de 15KD na intenção de reter as enzimas responsáveis pelo escurecimento da água-de-coco verde. Duarte et al. (1999) determinaram, por cromatografia por gel (filtração Superdex), o peso molecular das enzimas oxidativas presentes na água-de-coco verde, obtendo o peso molecular de 73,8KD para a polifenoloxidase e, para a peroxidase, o valor estimado foi de 49,2KD. Sendo assim, a membrana comercial de ultrafiltração, aqui empregada, reteria certamente essas enzimas, porém os estudos preliminares da retenção de microrganismos até maiores que essas enzimas (coliformes, mesófilos, bolores e leveduras) por essa membrana, mostraram a possibilidade de fissuras na parede, permitindo a permeação de toda a carga microbiana. Assim sendo, não foram feitos os estudos de retenção enzimática.

## **5.5 Análise de produto final estocado por 10 meses**

Foram efetuadas análises microbiológicas em amostras obtidas de ensaios realizados em julho de 2008 com as membranas M1, M3, M4 e M5. Ou seja, 10 meses após o processamento, analisou-se microbiologicamente amostras que haviam sido

coletadas em garrafas plásticas, tampadas e armazenadas sob refrigeração a 5°C, obtendo como resultado os dados da Tabela 8.

Tabela 8 - Análises microbiológicas da água-de-coco processada e “in natura”, com 10 meses de armazenamento sob refrigeração a 5°C.

Água-de-coco	Análises microbiológicas				
	CT (NMP/mL)	CF (NMP/mL)	Bolores (UFC/mL)	AM (UFC/mL)	Salmonella
In natura	≥240	≥240	>6,5x10 <sup>5</sup>	7,1x10 <sup>4</sup>	Ausente
M1	2,3	<0,3	1,7x10 <sup>5</sup>	1,4x10 <sup>2</sup>	Ausente
M3	<0,3	<0,3	>6,5x10 <sup>5</sup>	<10	Ausente
M4	≥240	≥240	>6,5x10 <sup>5</sup>	>6,5x10 <sup>5</sup>	Ausente
M5	1,1	0,7	2,4x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>3</sup>	Ausente

CT = Coliformes totais, CF = Coliformes fecais, AM = Aeróbios mesófilos

De acordo com os dados da Tabela 8, as amostras de água-de-coco processadas pelas membranas encontram-se não aptas para consumo, após o período de estoque de 10 meses. Isto pode ser explicado, pelo fato destas membranas terem baixo fluxo de permeação, o que promove uma demora excessiva no envase da água, promovendo o contato do produto com o ambiente contaminante. E ainda o contato do fluído com o oxigênio, preso no processo de lacre da embalagem, durante o período de estoque. Assim como, a utilização de embalagem não apropriada ao estoque prolongado do produto.

As bebidas, como a água-de-coco, podem ser acondicionadas em embalagens flexíveis, desde que sejam formadas a partir de filmes laminados compostos de vários

materiais diferentes: como o poliéster na parte externa, alumínio (barreira ao oxigênio), náilon (resistência) e polietileno no interior, no canudo e na tampa, em latas de alumínio, copos de polipropileno, laminados cartonados e garrafas de vidro e PET (PETRUS, 2005). Desde que sanitizadas e envasada asépticamente.

## 5.6 Análise de fluxo do processo de microfiltração

Uma boa membrana é permeável, seletiva e resistente simultaneamente. A permeabilidade das membranas deve ser avaliada em condições padrões, já que o fluxo da membrana depende de inúmeros fatores. O meio mais simples consiste em efetuar um ensaio da membrana com água destilada, à pressão diferencial e temperatura estabelecidas (MAFART e BÉLIARD, 1992). Os ensaios de permeabilidade de membranas não são normalizados e por isso é difícil a comparação entre membranas de diversos fabricantes. A seletividade da separação realizada pela membrana será melhor quanto mais estreita seja a zona de ruptura. Segundo sua porosidade, uma membrana se caracteriza por seu ponto de corte, ou seja a mínima massa molecular das moléculas totalmente retidas. A resistência é referenciada pela característica do material resistir a tratamentos químicos (limpeza e esterilização), físicos (resistência térmica das membranas) e/ou mecânicos (faixa de pressão de trabalho).

A Figura 29 apresenta o fluxo da água destilada ( $\text{Kg}/\text{m}^2\text{h}$ ) em função do tempo (min), para as membranas cerâmicas utilizadas neste estudo. Esta análise do fluxo da água destilada foi feita com o intuito de obter características de funcionabilidade do sistema e da capacidade de filtração da membrana, além de obter dados para verificar a limpeza da membrana após o uso. Este ensaio se torna importante para definir o parâmetro do fluxo constante, onde não há entupimento da membrana e que servirá de referência para

posterior comparação com outros fluídos.

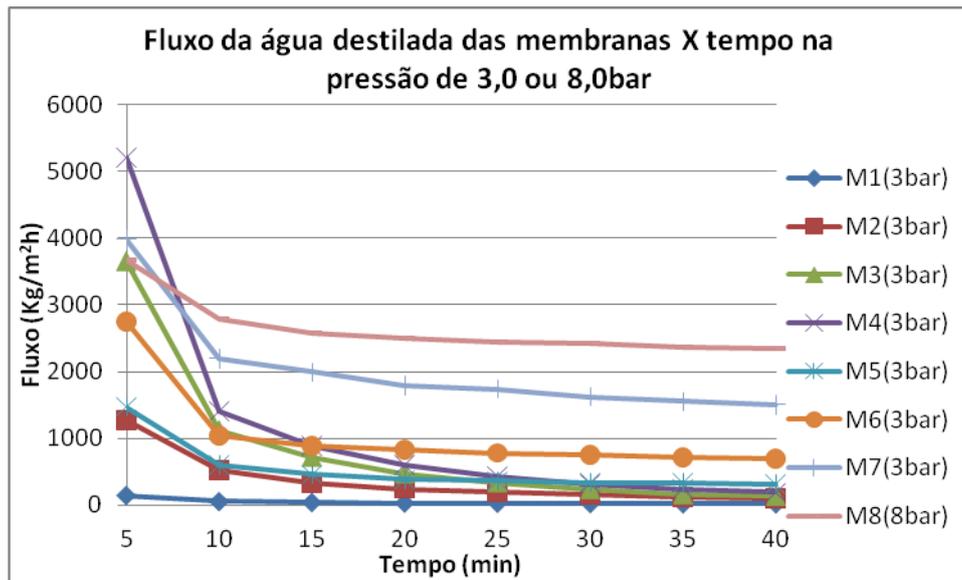


Figura 29 - Fluxo em função do tempo no emprego de água destilada.

A membrana M8 que é de ultrafiltração foi testada em várias pressões de trabalho, porém só veio apresentar fluxo transmembrana com pressão acima de 8,0kgf/cm<sup>2</sup>. Por isso sua pressão é diferenciada das demais referentes aos processos de microfiltração.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar pela Figura 29, que o fluxo da água destilada, através das membranas se torna praticamente constante após 20 minutos de ensaio. Os fluxos constantes para cada membrana testada estão na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Fluxos médios constantes com água destilada para cada membrana

Membrana	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	3	3	3	3	3	3	3	8
<b>Fluxo (Kg/m<sup>2</sup>h)</b>	18,22 ±4,71	101,78 ±18,58	131,79 ±33,81	187,26 ±41,46	310,45 ±157,62	691,84 ±151,61	1505,61 ±261,44	2341,90 ±490,03

\*Média ± estimativa do desvio padrão de triplicatas

Comparando os resultados observa-se que as membranas comerciais, M6 e M7, têm um fluxo muito elevado, cerca de 223% e 485% superior, respectivamente, as membranas produzidas em laboratório, como a M5 por exemplo. Isto se deve, principalmente, ao fato destas membranas comerciais serem assimétricas, apresentando em sua estrutura uma camada seletiva bem menos espessa do que a camada do suporte, que tem poros bem maiores, facilitando a permeação do fluido. As membranas M1, M2, M3 e M4 apresentaram os fluxos mais baixos, porém respectivamente crescentes e justificados pelos crescentes tamanhos de poros.

Na utilização das membranas para microfiltração de água-de-coco verde “in natura”, foram obtidos os seguintes resultados para fluxo permeado, que pode ser facilmente visualizado na Figura 30.

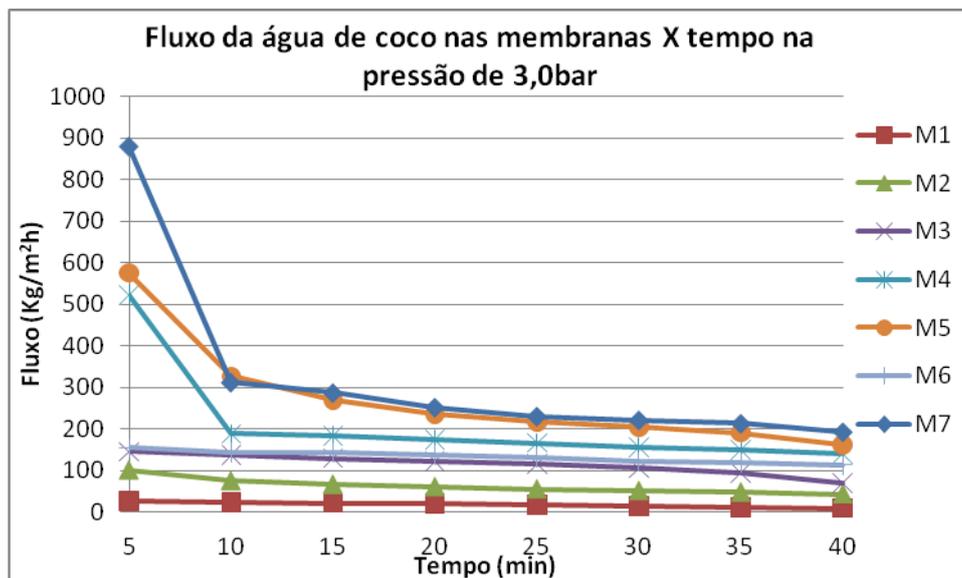


Figura 30 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde na pressão de 3,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

De acordo com os dados da Figura 30, pode ser verificado que há uma queda brusca nos primeiros minutos devido a ocorrência do clássico fenômeno de “fouling”, que é o resultado do aumento da concentração de solutos na superfície da membrana, do

entupimento de poros e também da adsorção de moléculas no material da membrana, assim como também se observa certa tendência do fluxo da água-de-coco “in natura” se estabilizar após 20-25 minutos de ensaio.

Segundo Schneider e Tsutiya (2001) a redução rápida inicial, ocorre devido a uma combinação de mecanismos, que incluem a concentração-polarização, o bloqueio interno de poros da membrana e a formação de uma camada inicial da torta de filtro. Após cerca de cinco a dez minutos de operação, a rápida queda inicial é substituída por uma queda gradual mais lenta, porém contínua até 40 minutos (tempo máximo de análise), causada pela incorporação de matéria orgânica na torta de filtro e pela colonização da membrana por microrganismos. Todos esses fatores contribuem para aumentar a resistência à transferência de massa através da membrana, quer seja pela redução da porosidade (entupimento, adsorção), quer seja pela polarização de concentração na superfície da membrana, devido ao acúmulo de solutos (VLADISAVLJEVI, 2003).

Não houve fluxo permeado de água-de-coco verde, quando da utilização da membrana M8 na pressão de  $3,0\text{kgf/cm}^2$ . Apenas foi detectado início de fluxo para esta membrana a partir de  $8,0\text{kgf/cm}^2$  de pressão.

A Figura 30 apresenta uma tendência do fluxo da água-de-coco verde se estabilizar em torno de  $10\text{ kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M1;  $45\text{ kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M2;  $70\text{ kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M3;  $140\text{kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M4 e  $160\text{ kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M5,  $115\text{kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M6 e  $195\text{ kg/m}^2\text{h}$  para a membrana M7. Isto implica num rendimento do fluxo ideal (água destilada) em torno de 50% para as membranas M1, M2, M3 e M5, porém para as membranas comerciais o rendimento foi em torno de 15% para as membranas M6 e M7. Uma possível explicação para este fenômeno talvez seja pela distribuição de tamanhos de poros destas membranas, pois com uma distribuição mais estreita as partículas tendem a ficar mais na superfície da membrana. Estas duas

últimas membranas embora tenham diâmetro médio de poros menores, pode ter uma distribuição de poros ampla e contribui para que as partículas possam entrar nos grandes poros e obstruir quase instantaneamente a membrana.

O fluxo diminuiu ao longo do processamento, observando-se uma rápida redução inicial que pode ser justificada pela concentração-polarização, o bloqueio interno de poros da membrana e a formação de uma camada inicial da torta de filtro. Após cerca de 10 minutos de operação, a rápida queda inicial é substituída por uma queda gradual mais lenta, porém contínua, causada pela incorporação de matéria orgânica na torta de filtro e pela colonização da membrana por microrganismos, como mencionado anteriormente.

A retenção de microrganismo pela membrana faz com que haja a formação de uma segunda camada adjacente à superfície da membrana. Esta camada atua como uma segunda membrana aumentando a retenção. Isto pode explicar o fato de se utilizar uma membrana com peso molecular de corte maior do que outra e obter-se em alguns casos a mesma seletividade.

Seguindo o mesmo ensaio para as membranas M3 e M4 à pressão de 3,0kgf/cm<sup>2</sup> cada membrana, após 40 minutos promoveu-se uma alteração da pressão para 8,0kgf/cm<sup>2</sup> com o intuito de verificar se haveria um aumento do fluxo permeado. Como resultado obteve-se a Figura 31:

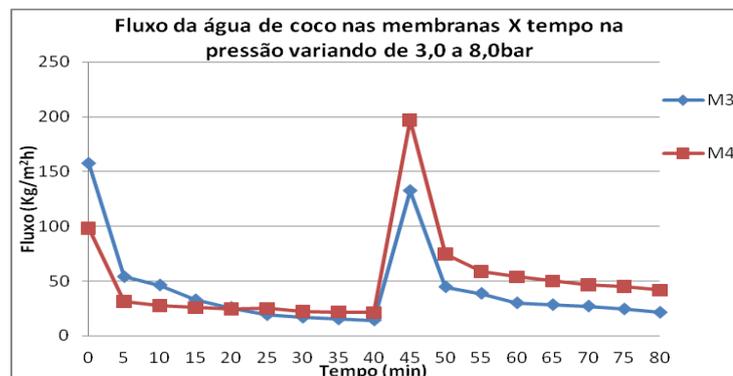


Figura 31 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde com variação de pressão de 3 para 8kgf/cm<sup>2</sup>.

Pode ser verificado que houve um incremento no fluxo permeado, porém após 10 minutos o mesmo voltou a cair bruscamente, mas ainda se mantendo em valores de fluxo muito próximos aos anteriores a mudança de pressão.

Lira (2004) ao efetuar uma variação de pressão de trabalho de 0,5 para 1,5kgf/cm<sup>2</sup> observou que o fluxo inicial do permeado através da membrana aumentou, entretanto, propiciou também maior velocidade na formação da segunda camada e, conseqüentemente, maior retenção, diminuindo bruscamente o fluxo para valores bem inferiores ao da pressão menor. Ainda segundo Lira (2004), com o aumento da pressão, há uma perda na velocidade do fluido em relação à superfície da membrana. Neste caso, há um maior contato da matéria orgânica e dos microrganismos com a superfície da membrana entupindo assim os poros. Para uma pressão menor ocorre uma maior velocidade do fluido em relação à superfície interna da membrana, provocando um arraste do material que poderia vir a entupir os poros.

Na Figura 32 estão plotados os dados da análise de fluxo em função do tempo para a água-de-coco verde conforme experimentos com as diversas membranas testadas neste trabalho, usando um diferencial de pressão de 8,0kgf/cm<sup>2</sup>, como força motriz.

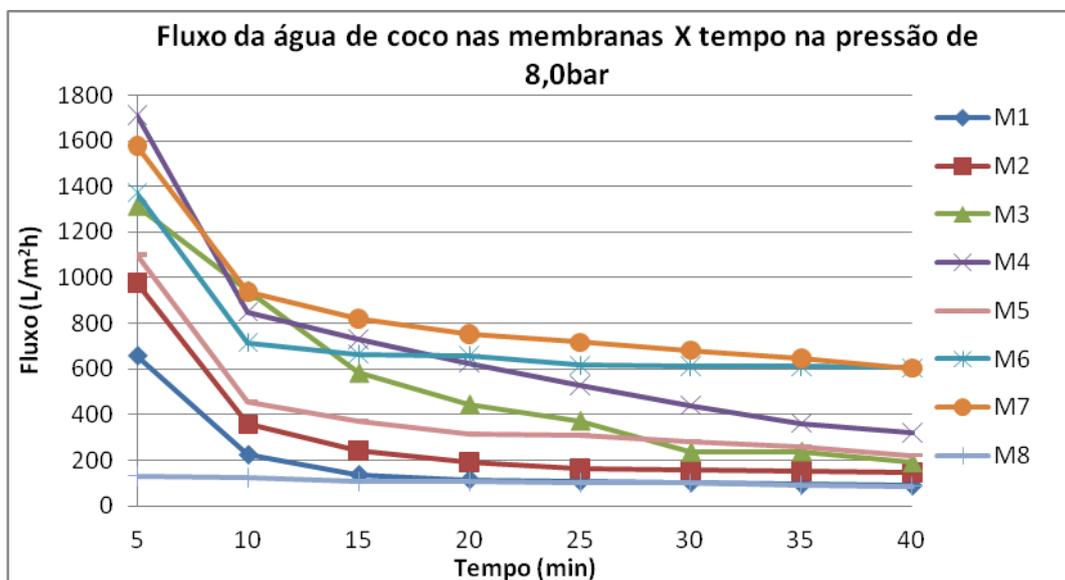


Figura 32 - Fluxo em função do tempo para água-de-coco verde na pressão de 8kgf/cm<sup>2</sup>.

Verifica-se que houve uma brusca queda no fluxo permeado, onde o fluxo se reduz a 13% do valor inicial para a membrana M1, 44% para a membrana M6 e 66% para a membrana M8. Com isto, a menor perda de fluxo é na membrana M8, membrana de ultrafiltração, que como sugerido anteriormente, provavelmente tenha alguma fissura na sua estrutura, por isso não perde tanto fluxo com o decorrer do tempo.

A Tabela 10 apresenta um resumo geral dos fluxos permeados da água destilada e da água-de-coco na pressão de 3,0kgf/cm<sup>2</sup> e da água-de-coco verde na pressão de 8,0kgf/cm<sup>2</sup> no tempo de 40 minutos após o início do ensaio.

Tabela 10 - Resumo geral dos fluxos permeados da água destilada e da água-de-coco

Membranas		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Fluxo (kg/m <sup>2</sup> h)	Água destilada (3,0kgf/cm <sup>2</sup> )	18,22	101,78	131,79	187,26	310,45	691,84	1505,61	2341,9*
	Água-de-coco (3,0kgf/cm <sup>2</sup> )	9,84	43,39	70,38	140,84	162,43	113,12	193,27	
	Água-de-coco (8,0kgf/cm <sup>2</sup> )	87,78	147,13	189,46	321,70	222,12	604,33	603,51	86,92

\*Fluxo da água destilada na pressão de 8,0kgf/cm<sup>2</sup>.

Verifica-se que há uma considerável variação nos fluxos hidráulicos das membranas testadas. As membranas que apresentaram maior fluxo permeado, com água destilada na pressão de 3,0kgf/cm<sup>2</sup>, foram as membranas comerciais M6 e M7, já para as produzidas em laboratório a que apresentou maior fluxo de água destilada foi a membrana M5. Quando do ensaio da água-de-coco verde, observa-se uma queda brusca nos rendimentos do fluxo na pressão de 3,0kgf/cm<sup>2</sup>, porém ocorre um incremento quando se aplica a pressão de 8,0kgf/cm<sup>2</sup>. Apesar de ter sido interrompido o ensaio de medição dos fluxos da água-de-coco verde na pressão de 8,0kgf/cm<sup>2</sup> aos 40 minutos (por motivo

de elevação da temperatura além da estipulada na metodologia do ensaio), verifica-se que ocorre uma tendência de continua redução destes valores.

Apesar de apresentar rendimentos de fluxo de água-de-coco verde baixos à pressão de  $3,0\text{kgf/cm}^2$ , recomenda-se a utilização desta pressão de trabalho por assim evitar aquecimento do fluido trabalhado, maior facilidade de remoção da matéria retida na superfície da membrana em relação ao ensaio na pressão de  $8,0\text{kgf/cm}^2$ , simplicidade de operação do sistema nesta pressão, além de redução do consumo energético quanto ao funcionamento do sistema.

Como resultado final pode-se verificar que as membranas M5, M6 e M7 são as mais indicadas para uso no processo de esterilização da água-de-coco verde, retendo boa parte da carga microbiana contaminante inicial, e garantindo a sanidade humana quando do consumo de águas de coco provenientes de processo de microfiltração com essas membranas. As membranas M5 e M7 foram as que apresentaram melhores fluxos permeados na pressão de  $3,0\text{kgf/cm}^2$ . E a membrana M6 foi a que apresentou menor queda de fluxo permeado ao aumentar a pressão de trabalho de 3,0 para  $8,0\text{kgf/cm}^2$ . Porém, o aumento da pressão de trabalho promoveu maior aderência da matéria retida à superfície da membrana, dificultando a limpeza e recuperação do fluxo hidráulico inicial.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos dados encontrados pode-se concluir que:

- O período mais indicado da colheita do coco verde, na Região de Sousa-PB, destinado à extração da água para consumo se encontra entre o 5º e o 6º mês após a inflorescência natural;
- O tratamento de higienização externa do coco mais indicado é a imersão em solução de cloro a 100ppm por 20 minutos;
- Não houve variações significativas das características físico-químicas das águas de coco verde “in natura” após os processos de microfiltração e ultrafiltração com membranas cerâmicas;
- Análises microbiológicas do permeado após microfiltração comprovaram a obtenção de um produto apto para consumo no processamento com as membranas M5, M6 e M7, após cinco dias de armazenamento sob refrigeração;
- Das membranas produzidas em laboratório a que apresentou maior fluxo de água-de-coco na pressão de  $3,0\text{kgf/cm}^2$  foi a M5 com o fluxo médio de  $162,43\text{ kg/m}^2\text{h}$  e a de menor fluxo permeado foi a M1 com  $9,84\text{ kg/m}^2\text{h}$ .
- Obteve-se o rendimento do fluxo ideal (água destilada), quando da aplicação em água-de-coco verde, em torno de 50% para as membranas M1, M2, M3, M4 e M5, porém para as membranas comerciais o rendimento foi em torno de 15% para as membranas M6 e M7.

- As membranas comerciais, M6 e M7, têm um fluxo de água destilada muito elevado, cerca de 220% e 485% superior, respectivamente, as membranas produzidas em laboratório, como a M5, por exemplo, que apresentou o melhor fluxo de todas as membranas testadas.
- As pressões de trabalho mais indicadas foram a de 3,0kgf/cm<sup>2</sup>, para pressão mínima, pois permite a comparação entre a maioria das membranas aqui trabalhadas e de 8,0kgf/cm<sup>2</sup> para pressão máxima, já que a membrana de ultrafiltração só permitiu fluxo a partir desse valor;
- Não foi efetuada a análise de retenção de enzimas pela membrana de ultrafiltração por falhas na membrana M8.

## **7. SUGESTÕES**

- Sugere-se a continuação deste estudo não mais em escala laboratorial, e sim em escala piloto no sentido de obter amostras, suficientes para realizar a análise sensorial do produto;
- Recomenda-se efetuar um estudo de emprego de envase asséptico para o produto processado, com objetivo de obter um produto que possa ser estocado a temperatura ambiente por períodos prolongados.

## 8. REFERÊNCIAS

ABREU, F. A. P., Processamento de Conservação da água-de-coco por métodos combinados. Patente DEINPI/CE nº 000129, Setembro, 1999.

AMERICAN PUBLIC HEALTH OF WATER AND WASRWATER. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16 ed. Washington: American Public Health Association, 1985. 1268 p.

ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, F. E.; TUPINAMBÁ, E. A.; SOUZA, V. A. B.; PAIVA, W. O.; REGO FILHO, L de M.; JESUS, W. de; PASSOS, E. E. M.; CUNHA, R. N. V. da; SILVA, O. R. C. D.; SOUZA FILHO, B. F. de; MADEIRA, M. C. B.; ROSA, M. de F. Melhoramento genético do coqueiro. Aracajú: Embrapa-CPATC, 1997. 17p.

ARAGÃO, W. M.; CRUZ, E.M.O.; COSTA, A. S.; BONFIN, K. B. R. Componentes dos frutos de cultivares de coqueiro-anão (*cocos nucifera*) Aracajú: Embrapa – CPATC, 1998. 3p.

ARAGÃO, W. M.; CRUZ, E.M.O. Curva de crescimento de frutos do coqueiro-anão (*cocos nucifera*) Aracajú: Embrapa – CPATC, 1999. 3p.

ARAGÃO, W. M. A importância do coqueiro anão verde. Petrolina: Embrapa, 2000. (Coletâneas Rumos & Debates). Disponível em: <http://www.embrapa.br:8080/aplic/rumos.nsf/0/85bc576bec325c7c832569040048cb84>.

Acessado em: 10/12/2003.

ARAGÃO, W. M.; ISBERNER, I. V.; CRUZ, E. M. O. *Água de coco*. Aracaju: Embrapa CPATC/ Tabuleiros Costeiros, 2001. (Série Documentos 24).

ARAGÃO, W. M.; REIS, C. dos S.; SIQUEIRA, E. R.; CRUZ, E. M. O.; TUPINAMBÁ, E. A.; ABREU, F. A. P. de; PAULA, F. R. de; RIBEIRO, F. E.; RESENDE, J. M.; ALENCAR, J. A. de; LIMA FILHO, J. M. P.; CABRAL, L. M. C.; CUENCA, M. A. G.; NUNES, M. U. C.;  
Andréa de Lucena Lira PPGEP/CCT/UFCG

ROSA, M. de F.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; MAREIRA, W. A. Coco. Pós-colheita. Série Frutas do Brasil. Aracajú. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 76p.

ARAGÃO, W. M. O potencial do coqueiro híbrido para a cocoicultura brasileira. Disponível: <http://riomar.cpatc.embrapa.br/index.php?idapagina=artigos&artigo=1130>. Acessado em: 20/05/2004.

ARAGÃO, F. B.; LOIOLA, C. M.; CAMBUI, E. V. F.; ARAGÃO, W. M. Produção de água de coco de cultivares de coqueiro verde. (Comunicado Técnico 42), Dezembro, 2005. Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2005/cot-42.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2005/cot-42.pdf) . Acessado em: 27/02/2010.

ASSIS, J.S.; RESENDE, J. M.; SILVA, F. O.; SANTOS, C. R.; NUNES, F. Técnicas para colheita e pós-colheita do coco-verde. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 2000. 3p. Embrapa-CPATSA.(Comunicado Técnico, 153/2).

BANWART, G. J. Basic food microbiology. 2. ed. New York:V. N. Rheinhold, 1989. p. 101-163.

BHAVE, R. R. Inorganic Membranes: Synthesis, Characteristics and Applications, Reinhold, New York, 1991.

BRASIL. Resolução-RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº27, de 22 de julho de 2009. Estabelece os procedimentos mínimos de controle higiênico-sanitário, padrões de identidade e características mínimas de qualidade gerais para a água de coco. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do;jsessionid=5bc62d857a0b1eef3a246fa091afe558b315c6e38d03e1037093a2698eee8433.e3uQb3aPbNeQe34Pa3aSbhyLbx50?operacao=visualizar&id=20507>. Acessado em: 13/03/2010.

BURGGRAAF , A .J. and COT, Fundamentals Of Inorganic Membrane Science And Technology, Elsevier, Amsterdam,1996.

CARVALHO, J. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; JÚNIOR, G. A. M. Água de coco: propriedades nutricionais, funcionais e processamento. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.27, n° 3, p. 437 – 452, jul./set. 2006.

CECCHI, H. M. Fundamentos Teóricos e Práticos em análise de Alimentos. Campinas:UNICAMP, 1999.

COOPASE, Cooperativa Agropecuaria de São Gonçalo. Entrevista dada ao Site Diário do sertão. <http://www.diariodosertao.com.br/artigo.php?id=20071102105918> Acessado em: 01/12/2009.

COSTA, L. M. C.; MAIA, G. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M. Avaliação da água de coco obtidas por diferentes métodos de conservação. Lavras, v. 29, n°6, nov/dez, 2005. Disponível em: < [http://www.editora.ufla.br/revista/29\\_6/art19.pdf](http://www.editora.ufla.br/revista/29_6/art19.pdf)>. Acesso em: 02/05/2007.

COT, L.; AYRAL, A.; DURAND, J.; GUIZARD, C.; HOVNANIAN, N.; JULBE, A. and LARBOT, A. Inorganic Membranes: Preparation, Characterization, And Specific Applications. Ind. Cer., v.8, n°1, 1988.

CUENCA, M. A. G.; SIQUEIRA, L. A. Aspectos Econômicos do Coqueiro. In: FONTES, H. R.; RIBEIRO, F. E.; FERNANDES, M. F. Coco: Produção, aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. P. 65-71. (Frutas do Brasil, 27).

CUENCA, M. A. G. A cultura do coqueiro. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Sistemas de Produção, versão eletrônica, novembro, 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/aspectos.htm> . Acessado em: 27/02/2010.

DUARTE, A.C.P.; RODRIGUES, S.L.C.; COELHO, M.A.; LEITE, S.G.F. Separação das enzimas peroxidase e tirosinase na água de coco por HPLC. In: Anais do III Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas, 1999. Livro de Resumos. P. 73.

FAGUNDES, U.; FRANCO, L., TABACOW, K.M.B.D.; MACHADO, N.L. Água de coco: variações de sua composição durante o processo de maturação. *Jornal de pediatria*, v.65, n.2, p.17-21, 1989.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Disponível em [www.fao.org](http://www.fao.org). Dados do FAOSTAT, 2007. Acessado em: 22/01/2010.

FARIA, J. A. F. Vida de prateleira de alimentos processados assepticamente. In: Seminário Latino Americano - Avanços Em Tecnologia Para O Processamento E Envasamento Asséptico De Alimentos, 2., 1993, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Unicamp, 1993. p. 7-28.

FILHO, W. G. V. Tecnologia em Bebidas, São Paulo, Edgar Blucher, 2005.

FOLHA ON LINE. Publicação eletrônica. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u81792.shtml>. Acessado em: 03 de abril de 2004.

FORTES, L. *Jornal da família*. Rio de Janeiro, 1993, 12p.

FRANÇA, R. V. Desenvolvimento de membranas assimétricas de alumina para pré-tratamento de água. Dissertação de mestrado, UAEMA/CCT/UFCG, Campina Grande, outubro de 2006.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia dos Alimentos*. São Paulo: Atheneu, 2003. 182 p.

FRASSETT, J., KYRIASIS, D. A., TÓRTORA, J. C. O. Avaliação microbiológica da água

de coco “in natura”, extraída e envasada, oferecida à população da cidade do Rio de Janeiro. Documentos N° 37 ISSN 0103-5797 Junho, 2000.

FRÉDMOND, Y.; ZILLER, R.; NUCÉ DE LAMONTHE, M. N. El cocotero: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona: Editorial Blume, **1975**, 236.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. Higiene e vigilância sanitária de alimentos. São Paulo, Livraria Varela, 2001. 655 p.

GOMES, P. Produção de Coco. Disponível em: <http://www.emater-rondonia.com.br/Coco.htm>. Acessado em: 15-abr-2007.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação com Membranas. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1997.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação com Membranas. Editora E-papers. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2006.

HAYES, G. D. Manual de datos para ingeniería de los alimentos. Zaragoza: ACRIBIA,1992.

HOFFMAN, F. L.; COELHO, A. R., MANSOR, A. P., TAKAHASHI, C. M., VINTURIM, T. M. Qualidade microbiológica de amostras de água de coco vendidas por ambulantes na cidade de São José do Rio Preto – SP. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 16, n.97, p.87-92, 2002.

HORWITZ, W. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry (A.O.A.C.). 12 ed., Washington: AOAC, 1975.

HSIEH, H. P. Inorganic Membranes for Separation and Reaction, Elsevier, Netherlands, Chap.2, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos

Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. 3 ed., São Paulo: IAL, 1985. V.1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTAÍSTICA - IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> . Acessado em: 27/01/2009.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (Campinas, SP). Coco: da cultura ao processamento e comercialização. Campinas, 1980. 265p. (ITAL. Frutas Tropicais, v. 5).

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Alguns Aspectos Tecnológicos das Frutas Tropicais e seus Produtos. São Paulo: ITAL, 1980. V. 10.

JACOBS, M. B. and GERSTEIN, M. J. Handbook of Microbiology. Princeton, New Jersey, D. Van Nostrand Company, Inc., 1960. 322p.

JAGTIANI, J.; CHAN, H. T.; SAKAI, W. S. Guaava. Tropical Fruit Processing. New York, Academic Press, 1988.

KONEMAN, E. W. ; Allen, S. D. ; Janda, W. M. ; Schreckenberger, P. C. ; Winn, W C . Diagnóstico Microbiológico: Texto e Atlas Colorido. 5a ed., Ed. MEDSI, 2008.

KRISHNANKUTTY, S. (1987). Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em: <http://coconutboard.nic.in/tendnutr.htm>. Acessado em 23/03/2004.

LAGUNA, L.E. Determinações físico-químicas de água de coco verde em duas variedades (*Cocos nucifera*, L.) coco-da-praia e anão. Fortaleza: UEC, 1996, 50p. Tese Mestrado.

LEITE C. C.; ASSIS, P. N. de; SILVA, M. da.; SANT'ANNA, M. E. B.; SANTANA, L. R. R. de. Avaliação microbiológica da água de coco produzida e comercializada na cidade de Salvador-BA. Higiene Alimentar, São Paulo, mar./2000, nº 70, p. 64-66.

LIN, S. H.; LAN, W. J., Waste oil/water emulsion treatment by membrane processes, Journal of Hazardous Materials 59 , 189-199, 1998.

LIRA, A. de L. Processamento da água de coco verde (*Cocos nucifera*) por microfiltração com membrana cerâmica. Dissertação de mestrado, PPGCTA/CT/UFPB, João Pessoa, julho de 2004.

LUCENA FILHO, A. B. Estudo e Desenvolvimento de um Sistema de Dessalinização via Osmose Inversa para Pequenas Comunidades, Fazendo o uso de Painéis Fotovoltaicos. Campina Grande: UFCG, 2000. Dissertação de Mestrado.

MAFART, P.; BÉLIARD, E. Ingeniería Industrial Alimentaria, Vol. II – Técnicas de separacion, Editora Acribia, Zaragoza, España, 1992.

MAGALHÃES, M. P.; GOMES, F. S.; MODESTA, C. D.; MATTA, V. M.; CABRAL, L. M. C. Conservação de água de coco verde por filtração com membrana. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 25(1): 72-77, jan-mar, 2005.

MAIA, J. B.; LUCENA, H. L., Obtenção de Membranas Cerâmicas de zircônia pelo método sol-gel para aplicação em processo de ultrafiltração. Anais do 15º Congresso brasileiro de engenharia e ciência de materiais, 2002, Natal, V. Cd-rom.

MARQUES, A.L.V. Água de coco – um produto tropical de mil e uma utilidades. Revista Alternativa, v.1, n.1, p 9-10, 1976.

MASSAGUER, P. R. Microbiologia dos processos alimentares. São Paulo: Livraria Varela, 2006. 258 p.

MASSAGUER, P. R. Tratamento asséptico dos alimentos: Foco na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Outubro, 2007.  
[http://www.uncnet.br/arquivos/noticias/Apres\\_Pilar.pdf](http://www.uncnet.br/arquivos/noticias/Apres_Pilar.pdf) . Acessado: 01/05/2010.

MERIN, U.; DAUFIN, G. Separation Process Using Inorganic Membranes in the Food Industry. In: First International Conference on Inorganic Membranes, Montpellier – France, p.271, 1989.

MOTA, D. M.; FONTES, H. R. Desafios Globais, estratégias locais na produção integrada de coco anão no Brasil. <http://www.sober.org.br/palestra/2/402.pdf>

MULDER, M. Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 1991.

OLIVEIRA, H.J.S., ABREU, C.M.P., WOBETO, C., OLIVEIRA-JUNIOR, E.N., XISTO, A.L.R.P. IV Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, UNICAMP – SP, 2001.

PEARSON, D. The Chemical Analysis of Food. 9 ed., New York: The Chemical Publish, 1992.

PETRUS, R. R.; FARIA, J. A. F. Processamento e avaliação de estabilidade de bebida isotônica em garrafa plástica. Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol 25, nº3, Campinas, Jul/set. 2005.

PORTER, M. C. Handbook of Industrial Membrane Technology. Noyes Publications, Westwood, New Jersey, 1990. 604 p.

RANGANA, S. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. New Delhi: Tata Mcgraw-Hill, 1979.

RODRIGUES, K. L.; GOMES, J. P.; CONCEIÇÃO, R. C. S.; BROD, C. S.; CARVALHAL, J. B.; ALEIXO, J. A. G. Condições higiênico-sanitárias no comércio ambulante de alimentos em Pelotas-RS. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 3, n. 23, p. 447-452, 2003.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P. Água de coco: métodos de conservação. Fortaleza: Embrapa – CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 40p.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; PENHA, E. M.; ARAGÃO, W. M., Processamento de água-de-coco verde. Fortaleza: Embrapa – CNPAT, 1998. p. 17.

ROSÁRIO, R.R. Formulation of coco beverage from mature coconut water. The Philippine Journal of Coconut Studies, v.4, n.3, p.1-5, 1979.

SACKEL, C. Site <http://www.sackel.com/documents/DevBoardPort.php>, visitada em 02/02/2004.

SANTOS, S. A. et al. Análise microbiológica e físico-química da água de coco comercializada na cidade de Aracajú – SE, IV Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, UNICAMP – SP, 2001.

SANTOS, J.; RIBEIRO, G. A. Avaliação microbiológica de sucos de laranja “in natura”, comercializados na cidade de Pelotas, RS. Revista Higiene Alimentar, São Paulo, v. 20, n.147, p. 40-44, 2006.

SCOTT, K. Handbook of Industrial Membranes, 1 ed. Elsevier Advance Technology, 1996.911p.

SHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas Filtrantes Para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso. São Paulo: ABES, 1ª ed., 2001.

SILVA, A. S., ARAUJO, M.V., ALVES, R.E. Ponto de colheita de coco verde para consumo in natura. I Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Agroindustrial tropical, Fortaleza – CE, 2003.

SILVA, A. A. et al. Avaliação de membranas cerâmicas comerciais para separação de água/óleo em sistema de laboratório, Anais do 1º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, Natal-RN, Novembro de 2001.

SILVA, B. M., MAIA, J. B. N.; Membranas Cerâmicas à Base De Alumina, Avaliação dos Parâmetros Espessura, Temperatura e Tempo de Sinterização, VIII Congresso de Iniciação Científica, 2000.

SILVA, F. A. Desenvolvimento e caracterização de membranas cerâmicas de cordierita, Dissertação de mestrado, UAEMA/CCT/UFCG, Campina Grande, março de 2006.

SILVA, N. Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 1997. 317p.

SORIA, R. Overview on Industrial membranes. *Catalysis Today*, 25 (285-290), 1995.

SREBERNICH, S. M. Caracterização física e química da água de fruto do coco (*Cocos nucifera*), variedades gigante e híbrido PB-121, visando o desenvolvimento de uma bebida com características próximas às da água de coco. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP.

TAVARES, I. F. Modificação de membranas inorgânicas e seu uso na separação de compostos orgânicos voláteis, através da técnica de pervaporação, Dissertação de Mestrado, UFCG, Campina Grande, 2000.

VALE, M. R. do; RAMOS, J. D.; SOUSA, H. U. de; JUNQUEIRA, K. P.; MENDONÇA, V. Cultura do Coqueiro-anão (*Cocos nucifera* L.). Disponível em [http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol\\_95.pdf](http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol_95.pdf). Acessado em 25/01/2010.

VANDERZANT, C. S. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 3 ed. Washigton. American Public Health Association, 1992. 1219p.

VILAR, M. A. Obtenção de TiO<sub>2</sub> pelo método pechini visando o desenvolvimento de membranas cerâmicas para tratamento de água. Campina Grande: UFCG, 2004. 82p. Dissertação de Mestrado.

VLAISAVLJEVI, G.T.; VUKOSAVLJEVI, P.; BUKVI, B. Permeate. Flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized Apple juice using ceramic membranes, *Journal of Food Engineering* (2003) in press.

WEBB, P. A. An Introduction To The Physical Characterization of Materials by Mercury Intrusion Porosimetry With Enphasis on Reduction and Presentation of Experimental Data, in [http://www.micromeritics.com/pdf/mercury\\_paper.pdf](http://www.micromeritics.com/pdf/mercury_paper.pdf), Georgia, U.S.A., 2001.

WOODROOF, J. G. Coconuts: Production, processing, products. Connecticut. The avi publishing company, 1970. 235p. Disponível em: <http://interparttecnologia.blogspot.com/2009/08/solucao-de-um-grave-problema-ambiental.html>. Acessado em 22/01/2010.

## APÊNDICE A – Análise Estatística dos resultados

O novo pacote Microsoft Office 2007 traz no programa Microsoft Excel, um suplemento de análise estatística (análise de dados), que pode ser utilizado de forma simples e descomplicado. Para os resultados, foram feitas análises de variância, com posterior comparação das diferenças entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Utilizou-se neste estudo esta ferramenta como auxílio na avaliação dos resultados. Foi efetuada a análise estatística dos resultados físico-químicos obtidos antes e após o processamento da água de coco verde por membranas cerâmicas com o intuito de verificar a existência ou não de diferenças significativas ao nível de 5% entre as amostras analisadas. Como resultado obteve-se os dados da Tabela 11.

Como o objetivo é saber se existe diferença, em média, entre as variáveis, determinou-se  $H_0$  como sendo a hipótese da diferença de média. Para saber então, se existe diferença estatisticamente significativa comparou-se o valor-p gerado na planilha do Excel com o valor de significância ao nível de 5%. Concluindo-se que existe diferença estatisticamente significativa se o valor-p for menor que 0,05 (5% de significância). Desta forma, os valores médios gerados na tabela que possuem letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras.

Efetuuou-se primeiramente a comparação entre os tratamentos e a amostra do tanque, tida como amostra de referência, resultando na Tabela 11. Em outro momento, efetuou-se a comparação entre todos os tratamentos de forma pareada, resultando na Tabela 12.

Tabela 11– Resultados das análises físico-químicas da água de coco verde antes e após processamento\*.

	<b>pH</b>	<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Açúcar redutor (%)</b>	<b>Açúcar não redutor (%)</b>
<b>Tanque</b>	5,12±0,34 <sup>a</sup>	6,67±0,70 <sup>a</sup>	94,20±0,07 <sup>a</sup>	0,38±0,02 <sup>a</sup>	0,187±0,025 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,36±0,21 <sup>a</sup>	4,62±0,31 <sup>a</sup>	0,36±0,14 <sup>a</sup>
<b>M1</b>	4,83±0,06 <sup>a</sup>	6,60±0,00 <sup>a</sup>	93,82±0,01 <sup>b</sup>	0,35±0,02 <sup>a</sup>	0,267±0,067 <sup>ab</sup>	0,06±0,00 <sup>b</sup>	0,15±0,04 <sup>a</sup>	5,11±0,06 <sup>a</sup>	0,50±0,10 <sup>a</sup>
<b>M2</b>	4,79±0,08 <sup>a</sup>	6,67±0,12 <sup>a</sup>	93,60±0,25 <sup>b</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,203±0,021 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,18±0,06 <sup>a</sup>	5,44±0,25 <sup>b</sup>	0,32±0,08 <sup>a</sup>
<b>M3</b>	4,71±0,28 <sup>a</sup>	6,00±0,35 <sup>a</sup>	93,25±0,06 <sup>c</sup>	0,34±0,02 <sup>b</sup>	0,243±0,058 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,24±0,06 <sup>a</sup>	5,68±0,15 <sup>b</sup>	0,41±0,07 <sup>a</sup>
<b>M4</b>	5,79±0,48 <sup>a</sup>	6,73±0,64 <sup>a</sup>	93,20±0,00 <sup>c</sup>	0,40±0,01 <sup>a</sup>	0,317±0,006 <sup>b</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,06±0,02 <sup>a</sup>	5,83±0,09 <sup>b</sup>	0,45±0,12 <sup>a</sup>
<b>M5</b>	5,40±0,17 <sup>a</sup>	6,23±0,25 <sup>a</sup>	93,67±0,58 <sup>a</sup>	0,33±0,03 <sup>a</sup>	0,193±0,061 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,19±0,02 <sup>a</sup>	5,31±0,07 <sup>b</sup>	0,45±0,10 <sup>a</sup>
<b>M6</b>	5,20±0,21 <sup>a</sup>	6,27±0,76 <sup>a</sup>	93,90±0,02 <sup>c</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,240±0,056 <sup>a</sup>	0,06±0,02 <sup>b</sup>	0,13±0,04 <sup>a</sup>	5,09±0,07 <sup>a</sup>	0,44±0,08 <sup>a</sup>
<b>M7</b>	5,03±0,09 <sup>a</sup>	6,33±0,46 <sup>a</sup>	93,69±0,05 <sup>c</sup>	0,35±0,00 <sup>b</sup>	0,180±0,050 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,17±0,04 <sup>a</sup>	5,25±0,21 <sup>b</sup>	0,46±0,22 <sup>a</sup>
<b>M8</b>	5,33±0,15 <sup>a</sup>	6,47±0,76 <sup>a</sup>	93,36±0,07 <sup>c</sup>	0,37±0,01 <sup>a</sup>	0,200±0,026 <sup>a</sup>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,27±0,06 <sup>a</sup>	5,40±0,35 <sup>b</sup>	0,53±0,24 <sup>a</sup>

\*Média ± estimativa do desvio padrão de triplicatas; Letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras.

Tabela 12 – Resultados das análises físico-químicas da água de coco verde antes e após processamento\*.

	<b>pH</b>	<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Acidez (%)</b>
<b>Tanque</b>	5,12±0,34 <sup>a</sup>	6,67±0,70 <sup>a</sup>	94,20±0,07 <sup>a</sup>	0,38±0,02 <sup>a</sup>	0,019±0,003 <sup>a</sup>
<b>1150</b>	4,83±0,06 <sup>a</sup>	6,60±0,00 <sup>a</sup>	93,82±0,01 <sup>b</sup>	0,35±0,02 <sup>a</sup>	0,027±0,007 <sup>ab</sup>
<b>1200</b>	4,79±0,08 <sup>a</sup>	6,67±0,12 <sup>a</sup>	93,60±0,25 <sup>b</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,020±0,002 <sup>a</sup>
<b>1250</b>	4,71±0,28 <sup>a</sup>	6,00±0,35 <sup>a</sup>	93,25±0,06 <sup>b</sup>	0,34±0,02 <sup>b</sup>	0,024±0,006 <sup>a</sup>
<b>1280</b>	5,79±0,48 <sup>a</sup>	6,73±0,64 <sup>a</sup>	93,20±0,00 <sup>b</sup>	0,40±0,01 <sup>a</sup>	0,032±0,001 <sup>b</sup>
<b>0,2</b>	5,20±0,21 <sup>a</sup>	6,27±0,76 <sup>a</sup>	93,90±0,02 <sup>b</sup>	0,38±0,00 <sup>a</sup>	0,024±0,006 <sup>a</sup>
<b>0,45</b>	5,03±0,09 <sup>a</sup>	6,33±0,46 <sup>a</sup>	93,69±0,05 <sup>b</sup>	0,35±0,00 <sup>b</sup>	0,018±0,005 <sup>a</sup>
<b>B1</b>	5,40±0,17 <sup>a</sup>	6,23±0,25 <sup>a</sup>	93,67±0,58 <sup>ab</sup>	0,33±0,03 <sup>a</sup>	0,020±0,003 <sup>a</sup>
<b>U</b>	5,33±0,15 <sup>a</sup>	6,47±0,76 <sup>a</sup>	93,36±0,07 <sup>b</sup>	0,37±0,01 <sup>a</sup>	0,019±0,006 <sup>a</sup>

\*Média ± estimativa do desvio padrão de triplicatas; Letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras.

Tabela 12 – Resultados das análises físico-químicas da água de coco verde antes e após processamento\* (continuação).

	<b>Proteínas</b> (%)	<b>Lipídeos</b> (%)	<b>Açúcar redutor</b> (%)	<b>Açúcar não-redutor</b> (%)
<b>Tanque</b>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,36±0,21 <sup>a</sup>	4,62±0,31 <sup>a</sup>	0,36±0,14 <sup>a</sup>
<b>1150</b>	0,06±0,00 <sup>b</sup>	0,15±0,04 <sup>a</sup>	5,11±0,06 <sup>ab</sup>	0,50±0,10 <sup>ab</sup>
<b>1200</b>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,18±0,06 <sup>a</sup>	5,44±0,25 <sup>bc</sup>	0,32±0,08 <sup>abc</sup>
<b>1250</b>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,24±0,06 <sup>a</sup>	5,68±0,15 <sup>cd</sup>	0,41±0,07 <sup>abcd</sup>
<b>1280</b>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,06±0,02 <sup>a</sup>	5,83±0,09 <sup>cde</sup>	0,45±0,12 <sup>abcde</sup>
<b>0,2</b>	0,06±0,02 <sup>b</sup>	0,13±0,04 <sup>a</sup>	5,09±0,07 <sup>ab</sup>	0,44±0,08 <sup>abcdef</sup>
<b>0,45</b>	0,08±0,00 <sup>a</sup>	0,17±0,04 <sup>a</sup>	5,25±0,21 <sup>b</sup>	0,46±0,22 <sup>abcdefg</sup>
<b>B1</b>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,19±0,02 <sup>a</sup>	5,31±0,07 <sup>cgh</sup>	0,45±0,10 <sup>abcdefgh</sup>
<b>U</b>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,27±0,06 <sup>a</sup>	5,40±0,35 <sup>b</sup>	0,53±0,24 <sup>abcdefgh</sup>

\*Média ± estimativa do desvio padrão de triplicatas; Letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras.

## ANEXO A – Caracterização das Membranas

Para este estudo foram utilizadas 8 membranas, conforme a Figura 33.

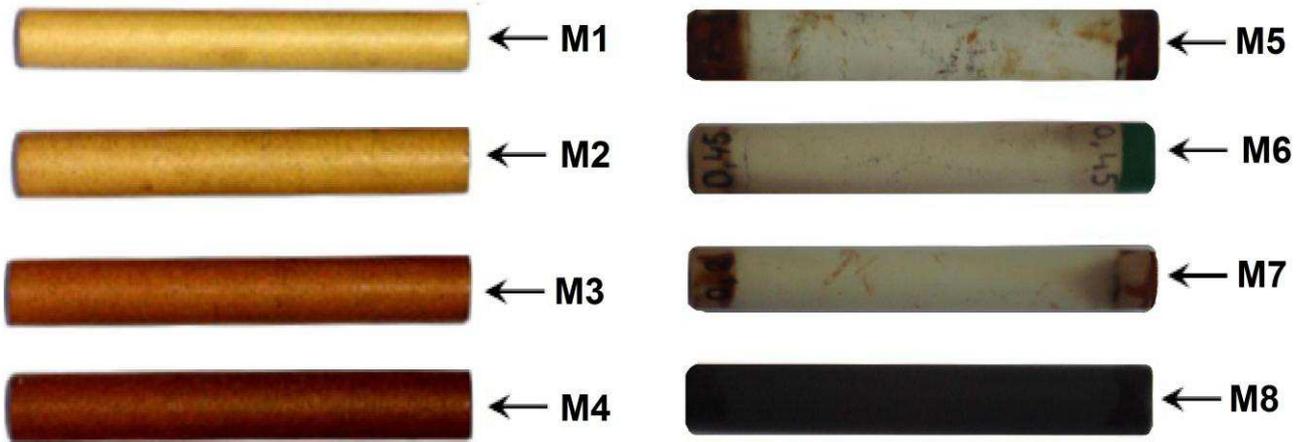


Figura 33 – Imagem das membranas utilizadas no experimento

As membranas M1, M2, M3 e M4 são membranas de formato tubular, de cordierita produzidas, por Silva (2006), a partir de matérias-primas originárias do estado da Paraíba: argila ball clay (Alhandra, PB) (45%), bentonita (Boa Vista, PB) (3%), talco (Ponta Grossa, PR) (17%) e chamota (obtida após calcinação da argila ball clay) (35%). Conformada pelo método de extrusão feita numa extrusora a vácuo com molde em aço temperado, de forma tubular e sinterizadas obedecendo a quatro curvas de queima diferentes com temperaturas máximas de 1150°C, 1200°C, 1250°C e 1280°C. O que resultou em membranas com tamanhos de poros diferentes na faixa de microfiltração.

A membrana M5 é uma membrana, também de formato tubular, de alumina produzida, por França (2006), a partir de matérias-primas como: alumina calcinada, argila bentonítica chocolate (Boa Vista, PB) (3%), amido solúvel PA e óleo diesel comercial. Com extrusão feita numa extrusora a vácuo com molde em aço, temperado, de forma tubular e sinterizadas obedecendo à curva de queima com temperatura máxima de 1300°C. O que resultou em membrana com tamanho de poros na faixa de 0,8µm.

As membranas M6 e M7 são membranas comerciais de alumina e titânia produzidas pela Kerasep® para sistemas de microfiltração. E a M8 é uma membrana de ultrafiltração de zircônia, também comercial produzida pela Rhodia Francesa.

### 1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada na caracterização física das membranas, procurando analisar a presença de defeitos superficiais, uniformidade da membrana, espessura das camadas presentes, bem como a densidade de poros.

As figuras 34, 35 e 36 ilustram as microscopias eletrônicas de varredura das membranas de alumina, cordierita e zircônia, respectivamente, com aumento de 500x.

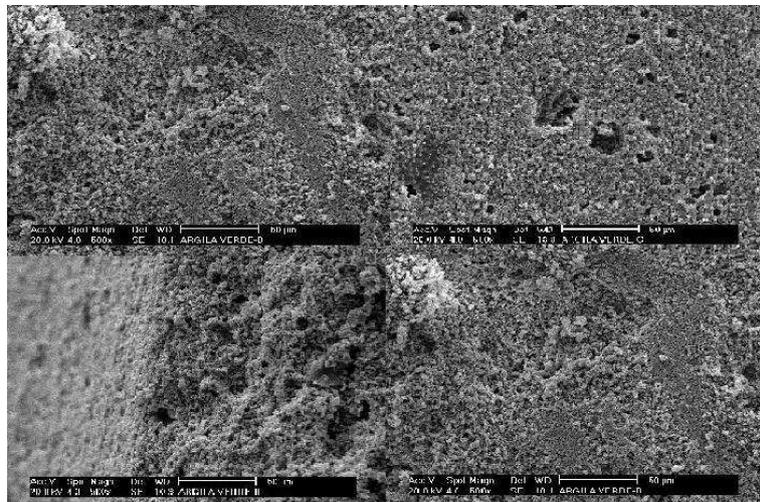


FIGURA 34 – Micrografia da superfície e do corte longitudinal da membrana de alumina (FRANÇA, 2006)

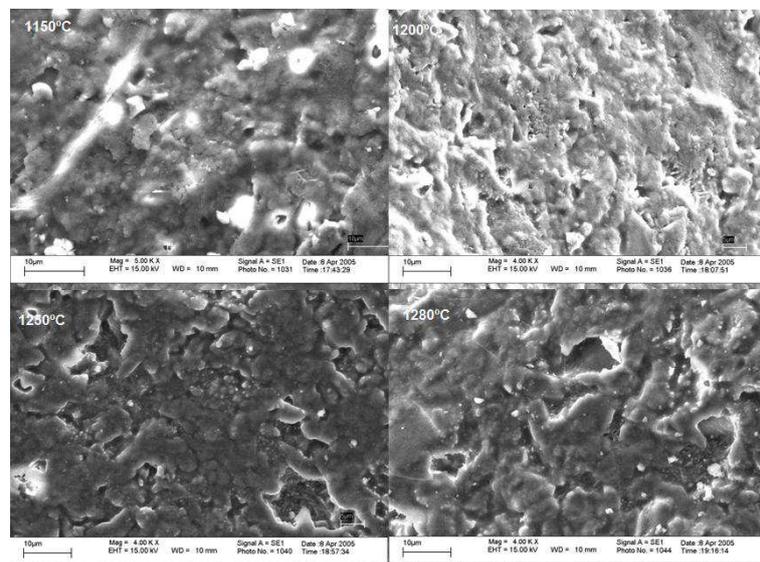


FIGURA 35 – Micrografia das membranas de cordierita (SILVA, 2006).

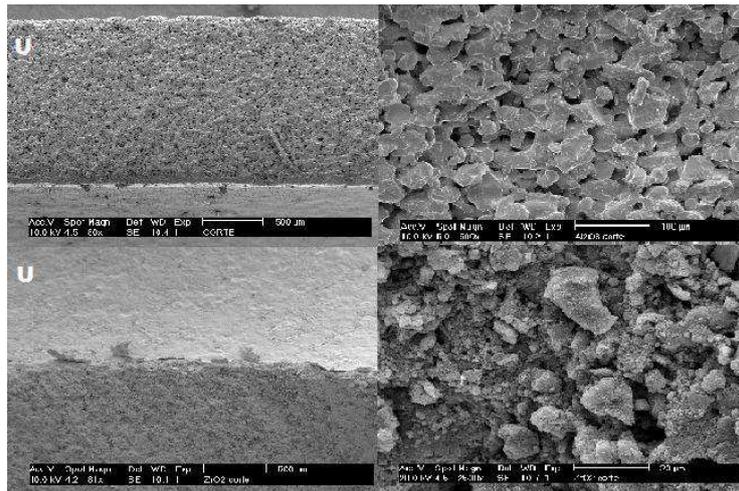


Figura 36 – Micrografia da membrana de zircônia (TAVARES, 2000).

Observa-se que estas membranas apresentam uma distribuição de partículas homogênea. Nota-se também que se trata de membranas porosas apresentando certa variação de tamanho de poros. Verifica-se a presença de irregularidades na superfície da estrutura.

## 2. Porosimetria ao Mercúrio

A caracterização de meios porosos por intrusão de mercúrio é efetuada a partir de medidas do volume de mercúrio que penetra nos poros da membrana seca, em função da pressão aplicada, (HABERT, 1997). O método se baseia na relação entre o raio do poro e a pressão necessária para se vencer a tensão superficial entre o líquido (mercúrio) e o material de que é feita a membrana. O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio é uma técnica que permite a análise de uma larga faixa de tamanho de poros (0,003 $\mu\text{m}$  a 360 $\mu\text{m}$ ). Entre os dados resultantes da porosimetria, os principais são: porosidade, volume total dos poros, densidade aparente e real, distribuição do tamanho dos poros e área de superfície específica, WEBB (2001).

As figuras 36a e 36b ilustram o resultado da porosimetria de mercúrio para as membranas de alumina e de cordierita.

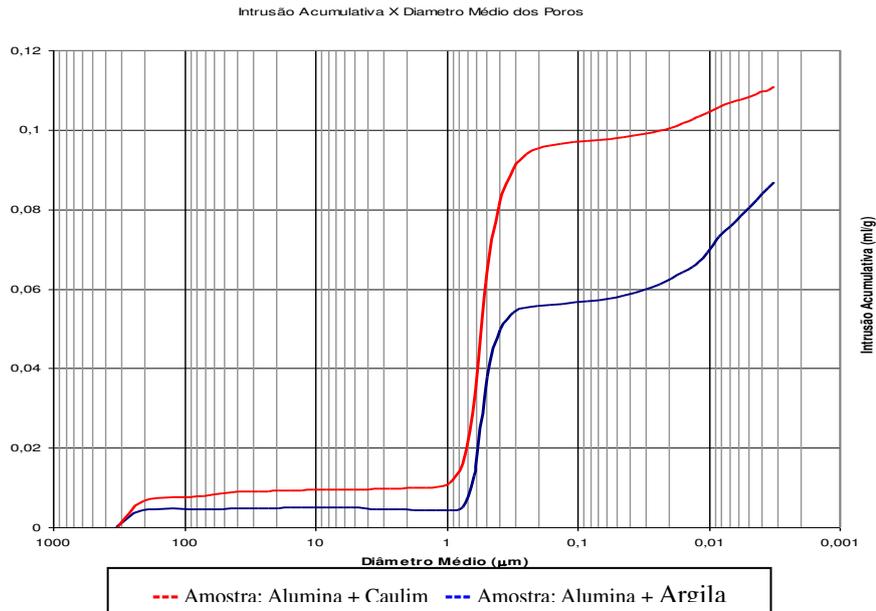


FIGURA 36a – Gráficos da Intrusão acumulativa e diâmetro médio dos poros da membrana de alumina obtidos por porosimetria de mercúrio. (SILVA, 2000)

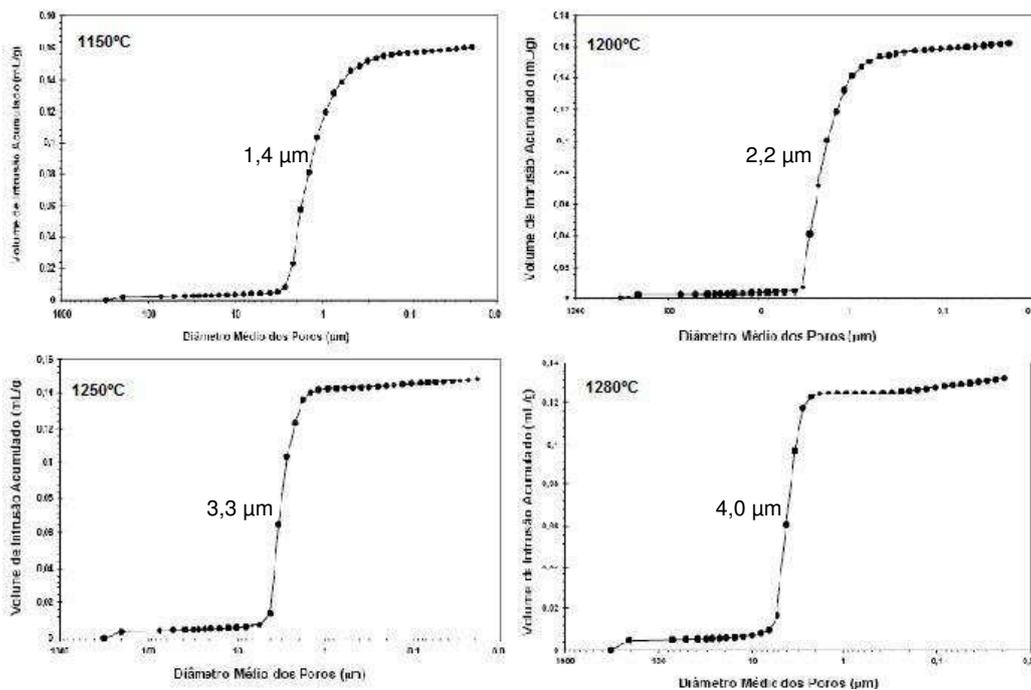


FIGURA 36b – Gráficos da Intrusão acumulativa e diâmetro médio dos poros das membranas de cordierita obtidos por porosimetria de mercúrio (SILVA, 2006).

De acordo com a curva de diâmetro médio de poros versus volume de intrusão acumulada, se determina um valor aproximado para o diâmetro médio de poros e para a

Andréa de Lucena Lira PPGEP/CCT/UFMG

porosidade das membranas, observando que nas de cordierita o diâmetro médio dos poros variou conforme variação da temperatura de sinterização. Então para as membranas que foram sinterizadas a 1150°C obteve-se poros médios na ordem de 1,4µm, para as sinterizadas a 1200°C os poros médios foram de 2,2µm, para as sinterizadas a 1250°C poros de 3,3 µm e poros de 4,0 µm para as sinterizadas a 1280°C.

Silva (2006) verificou que a elevação da temperatura de sinterização provocou diminuição da porosidade. A elevação da temperatura de sinterização provocou, além de um crescimento de grãos, a formação de fase líquida, conferindo uma maior densificação. Por outro lado, verificou-se que a elevação da temperatura também provocou o aumento no diâmetro médio dos poros das membranas. Isto se deve provavelmente ao escoamento da fase líquida formada, preenchendo os poros menores e conseqüentemente aumentando os poros maiores. De maneira geral, verifica-se que com o aumento da temperatura de sinterização ocorreu uma diminuição da porosidade e um aumento no tamanho dos poros remanescente.

Assim como na microscopia, os resultados obtidos pela porosimetria de mercúrio apresentaram valores bastante similares.

A membrana comercial M8 (U) fabricada pelo grupo Rhône-Poulenc (Rhodia francesa), usada no processo de ultrafiltração tem, conforme catálogo de especificações, ponto de corte de 15 KD. Já as membranas comerciais de microfiltração utilizadas neste experimento são membranas Kerasep® 40 monocanal de 0,2 e 0,45µm de poros.