

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE CONCENTRAÇÃO: DO  
SUCO INTEGRAL E DO SORO DE TOMATE SEPARADO POR  
CENTRIFUGAÇÃO E POSTERIOR RECOMBINAÇÃO.

29/92

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE CONCENTRAÇÃO: DO SUCO INTEGRAL E  
DO SORO DE TOMATE SEPARADO POR CENTRIFUGAÇÃO E POSTERIOR

Parecer

RECOMBINAÇÃO

Este exemplar corresponde  
reelaboração final da tese  
fornecida por Liliana Castro  
Puerta e aprovada pela  
comissão julgadora  
em 25.08.92.

Liliana, Castro Puerta  
Engenheira de Alimentos

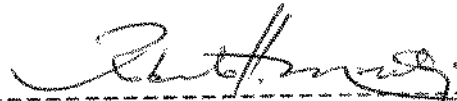
*Roberto H. Moretti*

Prof. Dr. Roberto H. Moretti  
ORIENTADOR

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da  
Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título  
de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Campinas, 1992.

BANCA EXAMINADORA

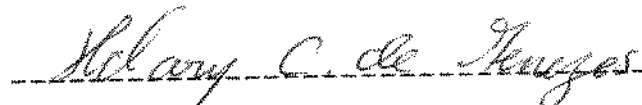


PROF. DR. ROBERTO HERMÍNIO MORETTI  
(ORIENTADOR)

-----  
PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. ENNY THEREZINHA MARTUCCI  
(MEMBRO)



-----  
PROF. DR. NELSON HORACIO PEZDA GARCIA  
(MEMBRO)



PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. HILARY CASTLE MENEZES  
(MEMBRO)

"Dizem que o que todos procuramos é um sentido para a vida. Não penso que seja assim. Penso que o que estamos procurando é uma experiência de estar vivos, de modo que nossas experiências de vida, no plano puramente físico, tenham ressonância no interior de nosso ser e de nossa realidade mais íntimos, de modo que realmente sintamos o enlevo de estar vivos."

O poder do mito. Joseph Campbell.

"Ningún lugar está lejos"

Richard Bach

Aos meus "velhinhos":

Jorge e Gladys

e irmãos:

Jose, Nana e Alvaro

## AGRADECIMENTOS

A Deus, força interior.

A meus pais e irmãos pelo seu amor, confiança e apoio, sempre.

Ao Prof. Dr. Roberto H. Moretti pela orientação segura, incentivo, e pelos ensinamentos profissionais e de vida

À Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA)

À Cia Industrial e Mercantil Paoletti pelo fornecimento da matéria-prima e à equipe de Pesquisa pela sua colaboração e interesse.

À Coordenadoria para o Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

À Associação Brasileira das Indústrias de Alimentos (ABIA), pelo apoio na impressão desta tese

Aos membros da banca examinadora, professores doutores Enny Martucci, Hilary Menezes e Horacio Pezoa, pelas sugestões na conclusão deste trabalho

Ao Instituto Adolfo Lutz, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e ao Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA), pela colaboração nas análises e empréstimo de equipamentos.

Ao Prof. Ramón Hinojosa pelas valiosas sugestões no desenvolvimento da pesquisa.

À Prof<sup>a</sup>. Helena Godoy, Prof. Dr. Emilio Contreras e a Judite Guimarães, pela colaboração nas análises de vitaminas.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Helena Damásio, pela orientação na etapa de avaliação sensorial.

Ao Dr. Javier Tellis, pela ajuda no processamento de dados reológicos

Ao Prof. Dr. Daniel Barrera, pela colaboração espontânea.

Ao pesquisador Roberto de Moraes, pelo incentivo e interesse.

Aos funcionários da secretaria do Depto. de Tecnologia de alimentos: Marlene, Susi, Marçal e Marcos, por sua disponibilidade e bom astral.

A todo o pessoal de Frutas e Hortalças e Produtos Açucarados, em especial a Ivana, Ana, Natalina, Patricia, Cesar e Jardine, pela colaboração, incentivo e carinho.

Ao pesquisador e amigo Manuel Plata, pelo apoio sempre especial em todas as etapas.

À Caroline Steel, por sua amizade sincera, e a sua família por me fazer sentir "em casa".

A Ilana Felberg, Hilda Torín, Pilar Domec, Carlos Chinchilla, Doralice Campagnolli, Myriam Salas, Bertha Ramirez, Liliana Agudelo, Regina Noronha e Maria Alice Garbin, amigos em todos os momentos.

À Margareth Freitas, pela revisão da língua portuguesa deste texto, pelo carinho e compreensão.

A todos os funcionários e colegas da pós-graduação que de uma forma ou outra colaboraram.

Aos amigos Colombianos, sempre presentes e incentivadores, embora longe.

Ao Brasil e a sua gente, por me permitir esta experiência de vida. Saudades que já se fazem presentes.

## ÍNDICE GERAL

	PAG
índice de tabelas. ....	v
índice de figuras. ....	viii
Resumo. ....	ix
Summary. ....	xi
Nomenclatura. ....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO. ....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....</b>	<b>3</b>
2.1. Generalidades. ....	3
2.2. O suco de tomate. ....	4
2.2.1. Características do suco de tomate. ....	5
2.2.1.1. Composição química e físico-química. ....	5
2.2.1.2. Propriedades reológicas. ....	11
2.3. Processo convencional de obtenção do concentrado de tomate. ....	14
2.4. Influência do processamento na qualidade do concentrado. ....	19
2.5. Processo de recombinação: soro concentrado e polpa. .	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS. ....</b>	<b>35</b>
3.1. Material. ....	35
3.1.1. Matéria-prima. ....	35
3.1.2. Equipamentos e aparelhos. ....	35
3.2. Metodologia dos processos. ....	36
3.2.1. Simulação em laboratório. ....	36
3.2.1.1. Otimização das variáveis do processo de centrifugação. ....	36
3.2.1.2. Centrifugação. ....	37
3.2.1.3. Caracterização das propriedades reológicas do soro e da polpa. ....	37
3.2.1.4. Preparação do soro concentrado. ....	37



3.2.1.5. Caracterização das propriedades reológicas do soro liofilizado dissolvido. ....	37
3.2.1.6. Recombinação: soro liofilizado dissolvido e polpa	38
3.2.1.7. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado recombinação. ....	38
3.2.2. Simulação em planta piloto. ....	38
3.2.2.1. Centrifugação. ....	38
3.2.2.2. Caracterização das propriedades reológicas do soro e polpa. ....	39
3.2.2.3. Concentração do soro. ....	39
3.2.2.4. Caracterização das propriedades reológicas do soro concentrado. ....	39
3.2.2.5. Recombinação: soro concentrado e polpa. ....	41
3.2.2.6. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado recombinação. ....	41
3.2.3. Processo industrial convencional. ....	41
3.2.3.1. Caracterização das propriedades reológicas do soro. ....	42
3.2.3.2. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado industrial convencional. ....	42
3.3. Métodos. ....	42
3.3.1. Determinações químicas. ....	43
3.3.1.1. Acidez total. ....	43
3.3.1.2. Açúcares totais. ....	43
3.3.1.3. Relação °Brix/Acidez. ....	43
3.3.1.4. Açúcares redutores. ....	43
3.3.1.5. Açúcares não redutores. ....	43
3.3.1.6. Teor de cinzas. ....	43
3.3.1.7. Atividade de pectinesterase. ....	43
3.3.1.8. Ácido ascórbico. ....	44
3.3.1.9. Carotenóides totais e valor de vitamina A. ....	44
3.3.2. Determinações físicas. ....	45
3.3.2.1. Sólidos solúveis (°Brix). ....	45
3.3.2.2. Teor de polpa. ....	45
3.3.2.3. Teor de umidade. ....	45
3.3.2.4. Consistência. ....	45

3.3.2.5. Viscosidade. ....	45
3.3.2.6. Determinação do tamanho médio das partículas. ....	47
3.3.2.7. Cor. ....	47
3.3.3. Determinações físico-químicas. ....	48
3.3.3.1. pH. ....	48
3.4. Análise sensorial. ....	48
3.4.1. Material. ....	48
3.4.2. Método. ....	49
3.4.2.1. Seleção dos provadores. ....	49
3.4.2.2. Treinamento dos provadores. ....	50
3.4.2.3. Realização dos testes. ....	51
3.4.3. Análises estatísticas. ....	52
3.4.3.1. Seleção dos provadores. ....	52
3.4.3.2. Avaliação das amostras. ....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	55
4.1. Simulação em laboratório. ....	55
4.1.1. Condições de centrifugação para a separação da polpa e do soro. ....	55
4.1.2. Caracterização das matérias-primas. ....	59
4.1.3. Caracterização do concentrado re combinado. ....	63
4.1.4. Comportamento reológico. ....	64
4.1.4.1. Matéria-prima. ....	64
4.1.4.2. Soro e polpa. ....	66
4.1.4.3. Soro concentrado. ....	67
4.1.4.4. Concentrado re combinado. ....	69
4.2. Simulação em planta piloto. ....	71
4.2.1. Caracterização da matéria-prima. ....	71
4.2.2. Caracterização do concentrado industrial convencional e do concentrado re combinado. ....	73
4.2.3. Comportamento reológico. ....	76
4.2.3.1. Matéria-prima. ....	76
4.2.3.2. Soro e polpa. ....	77
4.2.3.3. Soro concentrado. ....	78
4.2.3.4. Concentrado re combinado. ....	80
4.2.3.5. Processo industrial convencional. ....	81

4.2.3.5.1. Soro. ....	81
4.2.3.5.2. Concentrado industrial convencional. ....	82
4.2.4. Perdas de vitaminas nos concentrados obtidos nos processos industrial/convencional e de centrifugação	84
4.3. Análise sensorial. ....	86
4.3.1. Seleção dos provadores. ....	86
4.3.2. Análise sensorial dos concentrados. ....	88
<b>5. CONCLUSÕES.</b> ....	<b>93</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> ....	<b>94</b>
<b>7. ANEXOS.</b> ....	<b>107</b>
<b>8. GLOSSÁRIO.</b> ....	<b>110</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	PAG
Tabela 1. Composição média do suco de tomate. ....	5
Tabela 2. Características físico-químicas do suco de diferentes variedades de tomate no plantio Presidente Bernardes. ....	6
Tabela 3. Classificação dos frutos de acordo com seus percentuais de cálcio, ferro e fósforo. ....	8
Tabela 4. Composição em aminoácidos essenciais no tomate fresco e no suco na variedade VF 145 -FS. ....	9
Tabela 5. Comportamento e parâmetros reológicos do suco de tomate. ....	13
Tabela 6. Composição de vitaminas do tomate fresco, suco e concentrado. ....	27
Tabela 7. Valores do teor de polpa de diferentes produtos de tomate submetidos a centrifugação variando o número de gravidades e os intervalos dos tempos. ....	55
Tabela 8. Caracterização química, física e físico-química da matéria-prima. ....	60
Tabela 9. Caracterização química, física e físico-química do concentrado recombinação. ....	63
Tabela 10. Parâmetros reológicos da matéria-prima a 30°C. ....	64
Tabela 11. Parâmetros reológicos do soro e polpa (12,7°Brix) à velocidade angular de 63,4 rpm e 30°C. ....	67
Tabela 12. Parâmetros reológicos dos soros liofilizados dissolvidos à velocidade angular de 90,7rpm. ....	68
Tabela 13. Viscosidade aparente ( $\eta$ ) dos soros liofilizados dissolvidos à velocidade angular de 90,7 rpm. ....	68

Tabela 14. Parâmetros reológicos do concentrado recombinaado (24 <sup>o</sup> Brix) à velocidade angular de 90,7 rpm. ....	71
Tabela 15. Caracterização do suco parcialmente concentrado. ....	72
Tabela 16. Caracterização do concentrado industrial e do concentrado recombinaado. ....	74
Tabela 17. Parâmetros reológicos do suco parcialmente concentrado (1) com (9,6 <sup>o</sup> Brix) à velocidade angular de 90,7rpm e 30 <sup>o</sup> C. ....	77
Tabela 18. Parâmetros reológicos do soro (9,6 <sup>o</sup> Brix) a 30 e 60 <sup>o</sup> C e à velocidade angular de 545 rpm. ....	77
Tabela 19. Parâmetros reológicos do soro concentrado (67,8 <sup>o</sup> Brix) à velocidade angular de 90,7rpm. ....	78
Tabela 20. Parâmetros reológicos dos soros concentrados diluidos à velocidade angular de 90,7 rpm e 60 <sup>o</sup> C. ....	80
Tabela 21. Parâmetros reológicos do concentrado recombinaado (24 <sup>o</sup> Brix) à velocidade angular de 90,7 rpm. ....	81
Tabela 22. Parâmetros reológicos do soro industrial convencional (9,6 <sup>o</sup> Brix) à velocidade angular de 545,5 rpm e 30 <sup>o</sup> C. ....	81
Tabela 23. Parâmetros reológicos do concentrado 24 <sup>o</sup> Brix industrial convencional à velocidade angular de 90,7 rpm. ....	81
Tabela 24. Porcentagem de perdas de vitaminas A e C do concentrado recombinaado. ....	82
Tabela 25. Porcentagem de perdas de vitaminas A e C do concentrado industrial convencional. ....	84
Tabela 26. Valores de F amostras (Fa) e F repetições (Fr) da análise de variância de dois fatores para cada provador, por atributo sensorial. ....	87

Tabela 27. Médias individuais de cada provador para cada atributo sensorial e amostra de suco de tomate. ....	89
Tabela 28. Resultados da análise de variância de três fatores para cada atributo sensorial dos purês de tomate. ....	90
Tabela 29. Valores médios de 28 observações de cada atributo sensorial para os purês de tomate. ....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Fluxograma do processo convencional de obtenção de concentrado de tomate. ....	15
Figura 2. Fluxograma do processo de recombinação de obtenção de concentrado de tomate. ....	29
Figura 3. Fluxograma do processo de obtenção do concentrado re combinado de tomate, simulado em planta piloto de concentrado ....	40
Figura 4. Modelo de ficha utilizada na seleção da equipe de provadores. ....	53
Figura 5. Modelo de ficha utilizada no treinamento e avaliação das amostras. ....	54
Figura 6. Teor de polpa (% v/v) das matérias-primas, a diversas forças centrífugas e 10 min de centrifugação. ....	56
Figura 7. Teor de polpa (% v/v) das matérias-primas, a diversas forças centrífugas e 20 min de centrifugação. ....	58
Figura 8. Reograma do suco simples, suco parcialmente concentrado (2) e purê de tomate. ....	65
Figura 9. Variação da viscosidade aparente com a temperatura à velocidade angular de 90,7 rpm para os soros liofilizados dissolvidos. ....	70
Figura 10. Fluxograma e balanço de massa do processo de obtenção do concentrado de tomate. ....	109

## RESUMO

No presente trabalho foi estudado, a nível de laboratório e planta piloto, o método de separação centrífuga do soro e da polpa de tomate com concentração do soro e posterior recombinação com a polpa para obtenção de concentrado de tomate.

As matérias-primas, utilizadas para os experimentos foram suco, suco parcialmente concentrado, purê e concentrado de tomate, processados na indústria.

Na simulação em laboratório, foram caracterizadas as matérias-primas, e otimizadas as variáveis de centrifugação (tempo e número de gravidades) para três diferentes concentrações.

Foi produzido um concentrado re combinado de 24<sup>o</sup>Brix, a partir de purê de tomate (12,9<sup>o</sup>Brix). O purê foi centrifugado para separar suas frações: 60% de soro e 40% de polpa e posteriormente o soro foi liofilizado e dissolvido a 65<sup>o</sup>Brix e a polpa (12,9<sup>o</sup>Brix) armazenada sob refrigeração. Os produtos foram re combinados, mantendo-se as proporções de soro e polpa.

Caracterizaram-se reologicamente as matérias-primas, as frações e os soros liofilizados dissolvidos a diferentes concentrações (55, 60 e 65<sup>o</sup>Brix). Os resultados da baixa viscosidade do soro, permitem inferir na concentração deste o emprego de evaporadores de filme descendente, calândria ou de placas, com três ou quatro efeitos.

Na simulação em planta piloto, foi produzido um concentrado de tomate, a partir de suco parcialmente concentrado (9,6<sup>o</sup>Brix) o qual foi centrifugado e suas frações soro e polpa separadas. Posteriormente o soro foi concentrado até 67,8<sup>o</sup>Brix e



a polpa (9,6°Brix) armazenada sob refrigeração. Os produtos foram recombinaados, mantendo-se as proporções originaais de soro e polpa, obtendo-se um concentrado recombinaado de 31,75°Brix.

Compararam-se as características químicas, físicas, físico-químicas e organolépticas do concentrado recombinaado com o concentrado elaborado pelo método industrial convencional. O concentrado recombinaado apresentou maior retenção de vitamina A e vitamina C que o concentrado industrial convencional. Por outro lado, o produto apresentou maior consistência e viscosidade apesar de apresentar menor teor de polpa.

## SUMMARY

In this work, the method of centrifugal separation of serum and pulp followed by serum concentration and recombination to obtain a tomato concentrate was studied on both laboratory and pilot plant scales.

Tomato juice, partially concentrated tomato juice, tomato purée and concentrate, all processed by the industry, were used as raw-materials for the experiments.

In the laboratory simulation, raw materials were characterized and centrifugal variables optimized (time and gravity number) at three different concentrations.

A recombined tomato concentrate, 24°Brix, was produced from tomato purée (12.9°Brix). The tomato purée was centrifuged to separate its fractions: 60% serum and 40% pulp. The serum was lyophilized and dissolved in water to 65°Brix and the pulp (12.9°Brix) was stored under refrigeration. The products were recombined, maintaining the proportions of serum and pulp.

The rheology of the raw materials, the fractions and the lyophilized serum reconstituted at different concentrations (55, 60 and 65°Brix), was studied. The low viscosity of the serum permitted the use of falling film, calandria or plate evaporators for its concentration with three or four effects.

In the pilot plant simulation, a tomato concentrate was produced from partially concentrated tomato juice (9.6°Brix) which was centrifuged to separate serum and pulp. The serum was concentrated to 67.8°Brix and the pulp (9.6°Brix) was stored under refrigeration. The products were recombined, keeping the

original proportions of serum and pulp, to produce a recombined tomato concentrate of 31.75°Brix.

Chemical, physical, physical-chemical and organoleptical properties of the recombined tomato concentrate were compared to those of a concentrate produced by the conventional industrial method. The recombined concentrate presented higher vitamin A and vitamin C retention levels than the conventional industrial concentrate. The recombined product also presented greater consistency and higher viscosity with a lower pulp content.

## NOMENCLATURA

$k$	Coefficiente de consistência de fluidos	$(N \times s^n/m^2)$
$n$	índice de comportamento do escoamento de fluido	
	Onde: $n=1$ Fluido newtoniano	
	$n>1$ Fluido dilatante ("shear thickening")	
	$n<1$ Fluido pseudoplástico ("shear thinning")	
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação	$(1/s)$
$\tau$	Tensão de cisalhamento	$(N/m^2)$
$\tau_0$	Tensão residual de cisalhamento	$(N/m^2)$
$\eta$	Viscosidade aparente	$(cp)$

## 1. INTRODUÇÃO:

O tomateiro é nativo da América do Sul provavelmente das regiões andinas. A partir do descobrimento da América, foi levado para outros continentes, tendo-se notícia de seu cultivo na Itália (1554) e Inglaterra (1576) (HOBSON & DAVIES, 1971).

Inicialmente, o tomateiro foi usado como planta ornamental e considerado venenoso pelos europeus. Só a partir do século XIX é que passou a ser consumido como alimento na forma "in natura" e depois industrializado. A ampla aceitação desta hortaliça para o consumo humano, sua condição de fruto deteriorável, quando maduro, e o processo relativamente simples de conservação (em virtude do alto conteúdo de acidez natural) fazem com que o tomate seja uma matéria-prima de suma importância econômica e que pelo seu processamento, possa estar disponível nas entressafras (MINANI & FONSECA, 1982).

Dos derivados de tomate, os três produtos mais expressivos são: concentrados (extratos, purê, ketchup), suco natural e fruto inteiro pelado enlatado.

Os concentrados são obtidos por processo de evaporação do suco. A concentração, além de ser um método de preservação, já que oferece uma resistência às mudanças químicas e ao crescimento microbiano, (FENERCIOGLU & GOULD, 1979), apresenta a importante vantagem técnico-econômica da diminuição de custos na estocagem, no transporte e na embalagem. Contudo, o processo de concentração por evaporação apresenta problemas da seguinte ordem: formação de depósitos nas superfícies de aquecimento; perdas de aromas; degradação de componentes sensíveis ao calor e escurecimento do produto (MANNHEIM & PASSY, 1974).

O processo tradicional de concentração, normalmente em duplo efeito, é caro devido ao baixo aproveitamento do vapor e alto custo dos equipamentos. Os concentrados de tomate, também podem ser elaborados pelo método de separação centrífuga do soro e da polpa, com concentração do soro e posterior recombinação (PIMAZZONI, 1961). O soro, apresenta baixa viscosidade e pode ser concentrado em evaporadores de filme descendente, calândria ou de placas, de custo mais baixo que os evaporadores tradicionalmente utilizados em tomate. Como a polpa não é submetida a concentração, preservar-se-iam, mais seus aromas, sabor, cor, pectina e vitaminas.

No presente trabalho foram avaliados os parâmetros que indicam a viabilidade técnico-econômica do processo de "centrifugação" na produção de concentrados de tomate, sendo comparadas as características químicas, físicas, físico-químicas e organolépticas do produto final com o concentrado elaborado pelo método industrial convencional.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. GENERALIDADES:

Em termos botânicos, o tomate é membro da família das Solanáceas, pertencente ao gênero Lycopersicon, que se divide nos subgêneros: Euripersicon e Eulycopersicon, e engloba a espécie Lycopersicon esculentum, que apresenta importância comercial (PINTO & CASALI, 1980).

O fruto tomate é um ovário entumecido. Após a fertilização dos óvulos, a divisão celular é substituída pelo alargamento celular, que só diminui com o início do amadurecimento. A parte principal, conhecida como pericarpo, forma-se a partir da parede do ovário que circunda as sementes e consiste de paredes externas, internas e radiais. As cavidades locais ocorrem como espaços vazios no pericarpo e contêm as sementes embebidas em um gel de tecido parenquimatoso originário da placenta (HOBSON & DAVIES, 1971).

Durante o desenvolvimento do fruto, terminada a floração, ocorre uma série de transformações bioquímicas e fisiológicas, que podem ser integradas nos termos de desenvolvimento, maturação, amadurecimento e senescência (GORTNER et alii apud BARRETT, 1990).

Enquanto produto climatérico, o tomate inicia seu amadurecimento com a elevação de sua atividade respiratória, sofrendo uma série de transformações em suas características físicas e químicas. Dentre estas, as mais importantes são: o aumento no teor de açúcares, aparecimento de coloração vermelha, alterações no metabolismo de ácidos orgânicos e perda de firmeza (BARRETT, 1990).

No mercado brasileiro, até a década de 1970, iniciou-se a introdução de cultivares especialmente destinados ao processamento industrial, uma vez que a tomaticultura destinava quase toda a sua produção para consumo "in natura", sendo os refugos aproveitados na fabricação de massa. Hoje, a produção de tomate industrial ultrapassa a casa de um milhão de toneladas, superando a de tomate para mesa. Os cultivares comumente usados no Brasil são: Rio Grande, Rio Fuego, IPA-5 (NAGAI, 1989).

Após a colheita, o tomate se apresenta como um fruto altamente perecível. De acordo com SIGRIST apud BARRETT (1990), o tomate maduro tem vida média de prateleira de uma semana, com perdas pós-colheita da ordem de 25 - 50% e, para o tomate parcialmente maduro, uma vida de prateleira de 1 a 2 semanas, com 20 - 40% de perdas pós-colheita.

Dos produtos hortícolas é o mais largamente cultivado. Em 1990, a produção mundial esteve em torno de 69 milhões de toneladas métricas, ocupando, o Brasil, o 8º lugar com 2,2 milhões de toneladas (FAO, 1991).

## **2.2. O SUCO DE TOMATE:**

Segundo POLLARD & TIMBERLAKE apud HOBSON & DAVIES (1971), o suco de fruta pode ser definido como o líquido extraído por pressão, ou por outros meios mecânicos, da porção comestível das frutas. O suco é freqüentemente turvo, contendo componentes celulares em suspensão, com quantidade variável de tecido finamente dividido, material oleoso ou ceroso e pigmentos naturais da pele.

O suco de tomate é definido pelo FEDERAL FOOD, DRUG and COSMETIC ACT como o líquido não concentrado, extraído de tomates maduros ou vermelhos. Nessa extração, pode ser aplicado



calor. Por conter sólidos insolúveis finamente divididos da polpa do fruto, o tomate triturado é peneirado para a eliminação das cascas, sementes e outras substâncias grosseiras, resultando no suco, que pode ser homogeneizado e temperado com sal.

## 2.2.1. CARACTERÍSTICAS DO SUCO DE TOMATE:

### 2.2.1.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA:

A composição química do tomate pode variar em função de vários fatores, tais como: variedade, época de colheita, tamanho do fruto, estágio de maturação, fertilidade do solo, condições climáticas, manuseio pós-colheita, etc.

A composição estrutural média dos frutos é a seguinte: polpa de 96 a 97%, sementes de 1,0 a 1,5% e pele de 1,5 a 2,4% (LEONI & BELLUCCI, 1980). A Tabela 1 apresenta a composição média do suco de tomate, livre de sementes e pele.

Tabela 1. Composição média do suco de tomate.

---

Água (%)	93,00 - 96,00
Açúcares redutores (%)	2,00 - 3,50
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	0,25 - 0,50
Sólidos insolúveis (%)	0,70 - 1,00
Proteína solúvel e aminoácidos (%)	0,60 - 1,20
Minerais (%)	0,30 - 0,60
Sólidos solúveis (%)	4,00 - 7,00
Sal (%)	0,05 - 0,15

---

Fonte: LEONI & BELLUCCI (1980).

BERNHARDT et alii (1977a) realizaram estudos no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), com o objetivo de

caracterizar a composição química das diferentes variedades de tomate para suco. Os resultados das análises químicas dos sucos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas do suco de diferentes variedades de tomate no plantio Presidente Bernardes.

	SANTA-CRUZ	ROSSOL	NÁPOLI
pH	4,40	4,52	4,43
Acidez titulável (expressa em % ác. cítrico)	0,35	0,34	0,39
Acúcares redutores (%)	2,32	2,35	2,27
Acúcares não redutores (%)	0,81	1,13	0,61
Acúcares totais (%)	3,13	3,48	2,88
°Brix	4,60	4,70	4,50
Sólidos solúveis (%)	4,14	5,29	3,40
Sólidos insolúveis (%)	0,65	0,74	0,76
Sólidos totais (%)	4,79	5,03	4,46
Umidade (%)	95,19	95,16	95,43
Ácido ascórbico (mg/100g)	16,00	6,00	7,70
Pectato de cálcio (%)	0,19	0,19	0,21
Cloreto de sódio (%)	0,14	0,12	0,14
°Brix/Acidez	13,23	13,43	11,62
Cor "Hunter" L	25,60	26,31	26,11
a	21,43	19,39	19,72
b	14,42	14,55	14,72
a/b	1,49	1,33	1,35
Munsell Vermelho (%)	54,00	51,00	45,30
Amarelo (%)	27,50	31,20	34,80
Cinza (%)	6,80	8,70	8,40
Preto (%)	11,70	9,10	10,50

Fonte: BERNHARDT et alii (1977a).

Os ácidos orgânicos presentes no tomate são importantes não só por seu efeito sobre o sabor, mas também pela importância no processamento de seus produtos (HOBSON & DAVIES, 1971). No suco de tomate, os ácidos orgânicos estão representados principalmente pelo ácido cítrico, seguido pelo ácido málico (EL-MILADI et alii, 1969; HOBSON & DAVIES, 1971). No suco de tomate, têm sido citados oito ácidos orgânicos, tais como: tartárico, succínico, acético, láctico, oxálico e outros, sendo que alguns deles estão presentes apenas em traços (EL-MILADI et alii, 1969).

Os açúcares, no suco de tomate, variam entre 2 a 3,5%, representando de 40 a 60% dos sólidos totais do tomate (LEONI & BELLUCCI, 1980). Há predomínio dos açúcares redutores (teor de frutose ligeiramente superior à glucose e o teor de sacarose raramente superior a 0,1%) EL-MILADI et alii (1969). Traços de rafinose têm sido encontrados (AIRAM & BARNABAS apud HOBSON & DAVIES, 1971).

SIMANDLE apud GALVIS (1987), afirmou que o sabor do suco depende principalmente da relação: sólidos solúveis/acidez. Os sucos com essa relação elevada se tornam suaves e insípidos, enquanto que os de relação baixa são picantes e ácidos.

Os minerais na forma de sais são de caráter secundário na qualidade do produto final dos derivados de tomate (GOULD, 1974), sendo o potássio o elemento presente em maior quantidade, seguido de cloro, fósforo, magnésio, cálcio, sódio e ferro (LEONI & BELLUCCI, 1980).

Segundo a classificação das frutas por BAZORI & ROBBINS apud GARRUTI (1989), quanto ao teor de minerais, o tomate pode ser enquadrado do ponto de vista nutricional, como uma fonte regular de fósforo e ferro e uma fraca fonte de cálcio (Tabela

3).

Tabela 3. Classificação dos frutos de acordo com seus percentuais de cálcio, ferro e fósforo.

MINERAL (mg/100g)	BOM	REGULAR	FRACO
Cálcio	30	15 - 30	15
Ferro	1	0,5 - 1	0,5
Fósforo	40	25 - 40	25

Fonte: BAZORI & ROBBINS apud GARRUTI (1989).

Quanto a presença de aminoácidos, os trabalhos encontrados na literatura não concordam sobre a composição destes no tomate. EL-MILADI et alii (1969) registraram 19 aminoácidos solúveis no suco fresco, sendo predominante o ácido glutâmico, seguido do ácido aspártico e da prolina em menor concentração.

LEONI & BELLUCCI (1980) relataram que, através de cromatografia líquida por troca iônica, identificaram a composição de aminoácidos no tomate fresco e no suco, estando presentes todos os aminoácidos essenciais (Tabela 4).

Os componentes insolúveis do suco de tomate representam em torno de 15 a 20% dos sólidos totais e estão constituídos preponderantemente de substâncias pécticas, celulose, hemicelulose, lignina e outros polissacarídeos. A presença de substâncias pécticas tem notável importância na consistência do tomate e de seus derivados industriais (LEONI & BELLUCCI, 1980).

A pectina (constituente natural dos tomates maduros) é formada entre as células microscópicas dos tecidos vermelhos do

fruto. As pectinas são polímeros de ácido galacturônico de diversos comprimentos e pesos moleculares, com ligações alfa 1,4 glucosídicas e variáveis proporções de ésteres metílicos. As transformações da protopectina (precursora da pectina), que ocorrem durante o amadurecimento do fruto, devem-se à ação das enzimas pectinolíticas. A protopectinase transforma a protopectina (insolúvel na água) em pectina (solúvel). Outras enzimas presentes: a pectinasterase (PE) e a poligalacturonase (PG) podem agir quebrando a cadeia da pectina e afetando desfavoravelmente a consistência do produto (McCOLLOCH et alii, 1950).

Tabela 4. Composição em aminoácidos essenciais no tomate fresco e no suco na variedade VF 145-FS.

AMINOÁCIDO (mg/100g produto)	TOMATE FRESCO	SUCO
Treonina	13,1	10,7
Valina	2,7	1,9
Metionina	1,5	0,5
Isoleucina	5,7	3,7
Leucina	3,8	2,7
Fenilalanina	16,7	10,6
Lisina	6,2	6,4
Histidina	7,0	6,8
Arginina	6,2	5,0

Fonte: LEONI & BELLUCCI (1980).

O tomate fresco, o suco e seus produtos processados podem ter uma contribuição significativa na nutrição humana devido à concentração e disponibilidade de vitaminas. A vitamina C, presente em maior quantidade, tem concentração que varia geralmente de 20 a 30 mg/100g no fruto fresco, que apresenta também teor considerável de vitamina A (900 UI), tiamina (0.06

mg/100g), riboflavina (0,04 mg/100g) e niacina (0,7 mg/100g) GOULD (1974).

A vitamina A, encontra-se na forma precursora, de beta-caroteno e em uma mistura de menor concentração de alfa e gama caroteno (LEONI & BELLUCCI, 1980).

Quanto aos pigmentos naturais presentes no fruto, a cor verde do tomate é devida principalmente à clorofila, que desaparece, gradualmente, após o completo desenvolvimento do fruto. Nesse ponto, a sua coloração torna-se vermelha-amarelada devido à presença de carotenos e xantofilas (LEONI & BELLUCCI, 1980).

Diferentes tipos de pigmentos têm sido isolados do tomate. Os de maior importância na composição da cor são: alfa-caroteno, beta-caroteno, gama-caroteno, delta-caroteno, licopeno e as xantofilas. O licopeno é o carotenóide mais abundante no tomate, representando 83% dos pigmentos presentes, sendo responsável pela cor vermelha característica do fruto maduro e de seus produtos (LEONI & BELLUCCI, 1980). Além desses fatores, a relação licopeno/caroteno é também importante para a cor final do produto (BARRET, 1990).

Têm sido realizados numerosos estudos dos componentes aromáticos em diferentes variedades de tomate, cultivares e produtos de diferentes processamentos, através de cromatografia gasosa, identificando-se aproximadamente 400 compostos voláteis (PETRO-TURZA apud BUTTERY et alii, 1990).

LEONI e BELLUCCI (1980) agruparam os principais componentes aromáticos do tomate em: álcoois, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos, fenóis, compostos nitrogenados, compostos sulfurados, terpenos, furanos, ácidos livres e ésteres.

## 2.2.1.2. PROPRIEDADES REOLÓGICAS:

O estudo das propriedades reológicas dos alimentos tem um papel importante na ciência e tecnologia destes produtos. As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, influenciando diretamente na textura e, portanto, na qualidade sensorial destes. Por outro lado, é de grande interesse industrial, o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração (concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias) tanto para as condições de processamento como para o projeto e seleção de equipamentos (DURÁN, 1991).

O suco e concentrado de tomate são os alimentos fluidos mais estudados reologicamente (JIMENEZ & DURÁN, 1979).

HAND et alii (1955) estudaram o comportamento reológico do suco de tomate usando o viscosímetro Brookfield-LVF, a uma dada velocidade e temperatura, e concluíram que o fluido tinha comportamento não newtoniano, isto é, que não se ajustava ao modelo de Newton.

McCOLLUM et alii (1967) e FODA et alii (1970), identificaram valores de viscosidade aparente no suco de tomate, reconhecendo o comportamento não newtoniano, embora não o caracterizassem.

Segundo HARPER & SAHRIGI (1965), o suco de tomate com 5.27°Brix comporta-se como um fluido não newtoniano com comportamento pseudoplástico na faixa de temperaturas entre 32 a 65°C e velocidade de cisalhamento entre 30 - 800  $\text{seg}^{-1}$ .

KOLAROV & DASHKO (1973) descreveram o comportamento newtoniano nos sucos de tomate (4 - 8% matéria seca) de

diferentes variedades búlgaras, mas reconheceram que, para pequenos gradientes de velocidade de cisalhamento ( $D < 150 \text{ seg}^{-1}$ ), o suco comporta-se como fluido newtoniano, e que velocidades maiores ( $D > 150 \text{ seg}^{-1}$ ) destroem a estrutura do suco, eliminando a influência da mesma sobre os resultados das medidas.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros reológicas e os valores de viscosidade aparente ( $\eta$ ), o coeficiente de consistência ( $k$ ), o índice do comportamento do fluido ( $n$ ), a caracterização reológica (CR) e o tipo de viscosímetro usado para suco de tomate de diferentes concentrações, segundo vários pesquisadores.

RAO et alii (1981) verificaram a dependência da viscosidade aparente com a concentração de sólidos solúveis no suco concentrado de tomate. Desenvolveram para uma determinada variedade de tomate uma equação, onde à partir de uma concentração ( $C_1$ ) cuja viscosidade aparente é  $\eta_1$ , e determinando uma temperatura fixa, pode-se calcular a viscosidade aparente  $\eta_2$  do mesmo produto a uma concentração ( $C_2$ ):

$$\eta_2 = \eta_1 (C_2/C_1)^{2,5}$$

Fatores internos (componentes) e externos (processamento, temperatura, etc.) dos sucos também têm sido pesquisados. Segundo KERTESZ (1939), McCOLLOCH et alii (1950), WHITTENBERGER & NUTTING (1957), FODA & McCOLLUM (1970) e LUH & DAOUD (1971), além da forma das partículas e do volume, existem outros fatores próprios do tomate, que afetam a viscosidade do suco, dentre os quais, destacam-se as substâncias pécticas. Também os eletrólitos, como os citratos, as proteínas e o sal, contribuem para a viscosidade do suco (WHITTENBERGER & NUTTING, 1957, FODA & McCOLLUM, 1970).



Tabela 5. Comportamento e parâmetros reológicos do suco de tomate.

°BRIX	T (°C)	PARÂMETROS REOLÓGICOS			C R	VISCOSI-METRO
		$\eta$ (cp)	$k$ (d*s <sup>n</sup> /cm <sup>2</sup> )	$n$		
4,0	20	2,85	---	---	New	T C
	40	1,70	---	---	New	T C
5,8	32	17,5	2,2	0,59	Pse	C C
	50	13,5	3,7	0,47	Pse	C C
6,0	20	4,8	---	---	New	T C
	40	2,8	---	---	New	T C
8,0	20	7,9	---	---	New	T C
	40	4,5	---	---	New	T C
12,8	32	58,0	20,0	0,43	Pse	C C
	50	52,0	18,8	0,43	Pse	C C

Fonte: HARPER & SAHRIGI (1965); KOLAROV & DASHKO (1973).

$\eta$  = Viscosidade aparente.

$k$  = Coeficiente de consistência.

$n$  = Índice do comportamento do fluido (adimensional).

C R = Caracterização reológica.

New = Newtoniano.

Pse = Pseudoplástico.

C C = Cilindros concêntricos.

T C = Tubo capilar.

HAND et alii (1955) demonstraram que pode-se obter um amplo intervalo de valores de viscosidade no suco, manipulando as condições de peneiragem. Quanto maior o tamanho do furo, maior será o tamanho da partícula da fase dispersa. Portanto, o suco será mais viscoso. Além disso, no processo realizado a baixos valores de velocidade, apenas uma quantidade relativamente pequena de partículas se incorpora ao suco, tornando o produto menos viscoso do que com o emprego de altos valores de

velocidade.

### **2.3. PROCESSO CONVENCIONAL DE OBTENÇÃO DO CONCENTRADO DE TOMATE:**

As etapas envolvidas na obtenção de concentrado de tomate podem variar consideravelmente, porém, nas últimas décadas, os métodos e equipamentos utilizados têm sido padronizados. Assim, a seqüência geral das operações em todas as indústrias é basicamente similar (GOOSE & BINSTED, 1973).

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma simplificado do processo convencional para obtenção de concentrado de tomate e, a seguir, faz-se uma breve descrição das etapas envolvidas:

**Lavagem:** Esta etapa é essencial para remover as "impurezas" ou seja, qualquer substância estranha. Os tipos de impurezas presentes nos tomates são muito diversificados (microorganismos, terra, fungos, ovos e larvas de insetos, resíduos de inseticidas, restos de colheita, etc). A lavagem, com água clorada, tem duas fases: um período de imersão e um período de lavagem com pressão por aspersão (GOULD, 1974).

**Seleção e classificação:** Tem propósito de remover os frutos danificados ou partes destes, (áreas podres, atacadas por fungos, insetos) e separar os frutos extremamente verdes ou passados, que afetariam a qualidade do produto final. Nesta operação, é comumente usado o transportador de roletes (GOOSE & BINSTED, 1973).

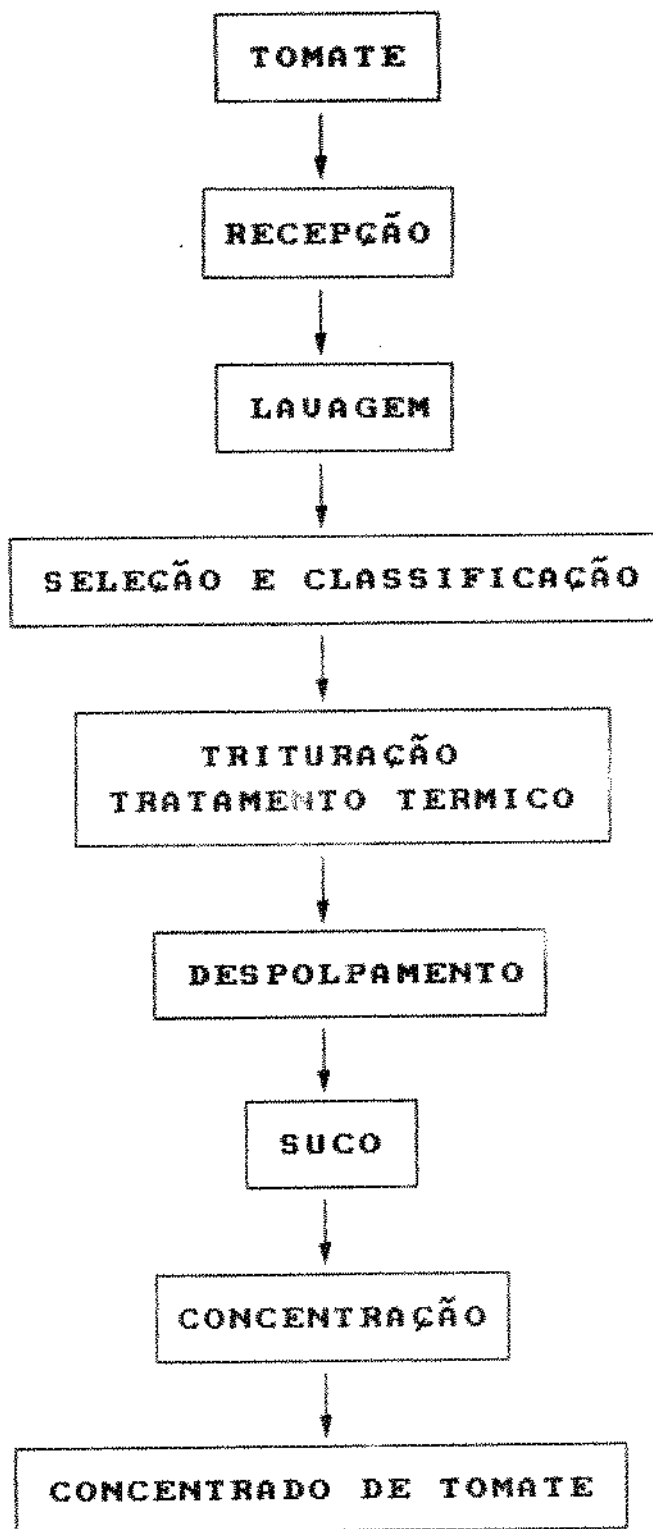


Figura 1. Fluxograma do processo convencional de obtenção de concentrado de tomate.

Fonte: GUASTALLA, 1968.

**Trituração ou desintegração:** O tomate é esmagado ou desintegrado, através de um moinho de facas fixas para ser posteriormente submetido ao aquecimento (GOOSE & BINSTED, 1973).

**"Cold-break":** Neste sistema, os tomates triturados são mantidos num tanque, onde permanecem por algum tempo. Em seguida, o material é submetido ao aquecimento em um trocador tubular em temperatura não superior a 60°C. Durante este período, são liberadas as enzimas: pectinasterase (PE) e poligalacturonase (PG). A primeira, presente em grande quantidade nos tomates, desesterifica as carboxilas da pectina, formando ácido pectínico e também desmetoxila produzindo ácido péctico, sobre o qual a enzima (PG) age, despolimerizando e produzindo ácido galacturônico. O grau de atividade das enzimas sobre a pectina depende do tempo de residência do tomate desintegrado no tanque (GOOSE & BINSTED, 1973).

No sistema **"Hot-break"**, o tomate triturado é aquecido de imediato a uma temperatura de 80° - 90°C, temperatura na qual inativa-se a (PE), e a (PG), resistente a esta temperatura, não pode realizar sua ação despolimerizante, devido à carência de substrato (ácido péctico) (McCOLLOCH et alii, 1950). Ainda, como consequência do tratamento térmico, há liberação do material gomoso que envolve as sementes do tomate e que, juntamente com a pectina, ajudam a dar consistência ao produto concentrado (GOOSE & BINSTED, 1973).

O produto final, obtido mediante o processo **"Cold-break"**, dá melhor cor e retém mais vitamina C, com prejuízo da consistência. Por outro lado, o produto obtido pelo processo **"Hot-break"**, embora destrua mais vitamina C, é de qualidade superior em relação ao sabor e ao corpo (GOULD, 1974). Esta operação pode ser realizada em trocadores de calor tubulares ou cozinhadores contínuos (GOOSE & BINSTED, 1973).

**Extração - despulpamento:** Esta etapa é realizada em despulpadores de dois ou três estágios, com a finalidade de separar pele e sementes da polpa (1º estágio) promovendo ao mesmo tempo o despulpamento do suco (2º estágio) e obtendo um produto de textura homogênea (GOOSE & BINSTED, 1973).

**Concentração:** Esta operação constitui a etapa mais importante da produção de concentrado de tomate envolvendo a evaporação de grandes quantidades de água e aumentando progressivamente o teor de sólidos no suco.

A função do evaporador é a de remover o solvente mediante uma rápida transferência de calor ao material a concentrar e, ao mesmo tempo, reduzir ao máximo os danos causados pelo calor (LEONI & BELUCCI, 1980).

A rápida evaporação da água do suco de tomate, e a relativa baixa viscosidade do suco nos primeiros estágios de concentração (12% sólidos totais), torna possível o emprego de "pré-concentradores". É mantido o vácuo (600 mm Hg), no evaporador e o suco que flui rapidamente através dos tubos é aquecido à temperatura de 65°C entrando em ebulição. Para posteriores concentrações, o suco parcialmente concentrado (12°Brix) deve ser transferido a evaporadores que mantenham as condições de turbulência na massa. Para tal efeito emprega-se o sistema de circulação forçada, onde grandes velocidades do produto são atingidas por meio de bombas de recirculação (GOOSE & BINSTED, 1973; MORETTI, 1973).

No processo de concentração, os evaporadores de duplo e múltiplo efeito operam a pressões reduzidas. Estes evaporadores podem ser de tipo "batch" ou contínuo. Nas fábricas modernas de concentrado de tomate, são muito utilizados os evaporadores de circulação natural e serpentina rotativa, fabricados pela "Tito Manzini" e de circulação mista fabricado pela "Rossi i Catelli",

da Itália, para a concentração contínua de suco de tomate (GOULD, 1974).

Um dos mais utilizados o "Titano", de duplo efeito consiste de um único corpo cilíndrico, onde os efeitos se encontram, um sobre o outro. A alimentação da polpa é em direção oposta ao vapor (contra-corrente), e o primeiro efeito com serpentina rotativa é o "finisher" e o segundo efeito com calândria é o pré-concentrador. A polpa de tomate pode ser encaminhada ao pré-concentrador pelo vácuo existente no equipamento ou com auxílio de uma bomba. No segundo efeito a polpa é parcialmente concentrada, a uma temperatura de 40°C, onde por convecção ocorre o fluxo ascendente e descendente do material. A polpa tratada neste estado, é passada com auxílio de uma válvula reguladora para o primeiro efeito "finisher" que é mantido a um nível de menor vácuo (600 mm Hg) que o pré-concentrador, para que nesta etapa possa ser mantida uma temperatura próxima a 64°C. Uma rápida transferência de calor no primeiro efeito sem problema de queima do produto é alcançada pelo uso da serpentina rotativa, através da qual circula vapor. A rotação desta serpentina a uma velocidade de 3m/seg em relação ao produto, permite uma transferência de calor uniforme e rápida e uma taxa de concentração da massa quase constante. A alta turbulência do produto em contato com a serpentina impede formação de depósitos, permanecendo as superfícies aquecidas limpas e termicamente eficientes por longos períodos; permitindo o funcionamento contínuo do equipamento. O evaporado deste efeito é utilizado como vapor de aquecimento para o pré-concentrador (GOOSE & BINSTED, 1973).

O evaporador "Rossi i Catelli" é de duplo efeito, sendo que a primeira parte da evaporação ocorre no segundo efeito, por circulação natural, através de um corpo inclinado unido ao corpo principal do evaporador, e a etapa final de concentração ocorre no primeiro efeito por circulação forçada. O

suco de tomate é recebido no segundo efeito do evaporador que consiste de um feixe de tubos inclinados e um separador de vapor tipo ciclone, localizado acima do primeiro efeito. O suco de tomate com baixa concentração, circula facilmente por convecção. Esta secção é aquecida pelo evaporado resultante do primeiro efeito. Após a pré-concentração no segundo efeito, a polpa é transferida por gravidade através de um regulador de nível automático para o primeiro efeito do evaporador, onde a circulação é feita por meio de uma bomba. Esta eleva a polpa até o topo do trocador de calor que então desce a alta velocidade pelos tubos, revertendo a direção normal do escoamento, que inicialmente é ascendente, atingindo uma maior velocidade pois a ação da bomba é auxiliada pela gravidade. A taxa de transferência de calor é extremamente rápida sob estas condições e a polpa entra em ebulição a uma temperatura de 62°C. O tempo de contato do material com as paredes dos tubos é extremamente curto. Após circular pelos tubos, o concentrado passa pelo separador de vapor tipo ciclone que forma a parte inferior do corpo principal do evaporador e daí volta para a bomba. Após recirculação por esta parte do sistema a polpa concentrada é retirada continuamente por uma saída logo acima da bomba. O evaporado produzido no segundo efeito é retirado pelo condensador que automaticamente mantém o nível de vácuo requerido pelo sistema (aproximadamente de 700 mm Hg) GOOSE & BINSTED (1973).

#### **2.4 INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO NA QUALIDADE DO CONCENTRADO:**

O concentrado é obtido por processo de evaporação do suco que é considerado por diversos pesquisadores como um fluido viscoso de comportamento "não newtoniano", mesmo em baixas concentrações de sólidos totais. Este comportamento reológico torna-se mais complexo com a concentração aumentando o teor de sólidos totais no produto (MANNHEIM & PASSY, 1974).

Valores elevados de temperatura durante a concentração podem promover reações químicas indesejáveis, que afetam o sabor e/ou a cor dos produtos. A deterioração da qualidade é um processo dependente dos parâmetros tempo/temperatura, e, neste sentido, os evaporadores podem ser considerados como reatores químicos, nos quais a temperatura de evaporação e o tempo de residência são os parâmetros mais importantes (MEFFERT, apud SARAVALCOS 1974).

As propriedades reológicas (viscosidade e constantes reológicas) são muito importantes na evaporação de alimentos fluidos, em particular de sucos de frutas, pois estão diretamente relacionadas com a transferência de calor e as possíveis incrustações que podem se formar nas superfícies de aquecimento, particularmente nos trocadores de calor dos evaporadores (SARAVALCOS, 1974).

Conforme LEONI & BELLUCCI (1980), na concentração do suco de tomate, este torna-se, progressivamente, mais consistente e viscoso devido à destruição de componentes sensíveis à temperatura, como os materiais pectínicos e gomosos, que, sob a ação do calor, propiciam a formação de um depósito sobre a superfície de aquecimento. Segundo ADAMS et alii (1955), este depósito, conhecido como incrustação (fouling), constitui um problema sério durante o processo de evaporação. Ainda que em pequena espessura, provoca uma sensível redução do coeficiente de transferência de calor, que promove uma drástica diminuição na condução do calor para o produto e ainda o sobreaquecimento localizado, afetando a capacidade de produção da planta, a qualidade do produto e sua estabilidade no armazenamento.

Embora o mecanismo de formação de incrustação seja complexo, são considerados fatores de grande importância a temperatura na superfície de transferência de calor, as características reológicas do fluido e a composição química do



suco (MORGAN apud SARAVALCOS 1974).

MORGAN & WASSERMAN apud MANNHEIM & PASSY (1974) pesquisaram a formação de incrustação durante a concentração de suco de tomate em evaporadores de circulação natural e forçada, constatando um significativo acúmulo de proteína na incrustação.

Para ADAMS et alii (1955), o tratamento do suco com vapor direto a  $40 \text{ lbs/pol}^2$ , antes da evaporação, degrada as pectinas, causando diminuição da espessura do depósito. Segundo estes pesquisadores, uma redução drástica no tamanho das partículas do suco propicia um ligeiro aumento na formação das incrustações.

Segundo SARAVALCOS (1974), o suco de tomate é um produto de relativa estabilidade ao calor, entretanto sucos com comportamento "não newtoniano" têm uma maior tendência a formar incrustação. Este fato é favorecido pelo uso de alta temperatura, recomendando-se, portanto, a evaporação a temperatura reduzida.

No processo de concentração de sucos, alguns componentes voláteis são removidos com o evaporado. O típico aroma de suco fresco pode ser preservado no produto final, por dois métodos principais: retenção no produto ou na fração não evaporada, como é o caso do processo de recombinação, ou por recuperação no processo de evaporação e reincorporação em uma etapa posterior. O dano causado aos componentes sensíveis ao calor pode ser devido à decomposição, polimerização e coagulação de alguns de seus constituintes. As proteínas são sensíveis ao calor: temperaturas superiores a  $50^{\circ}\text{C}$  as desnaturam rapidamente, ocasionando mudanças de sabor. Os evaporadores para alimentos, em particular aqueles que processam produtos sensíveis ao calor, devem ser de alta turbulência (a fim de minimizar a formação de

incrustações), de curto tempo de contacto (para diminuir as mudanças de sabor) e de baixas temperaturas de operação (MANNHEIM & PASSY, 1974).

Os evaporadores mais comumente usados na indústria de concentrado de tomate, a nível mundial, são o Rossi i Catelli e o Titano, que são equipamentos para processo contínuo, com escoamento do produto em contra-corrente e de duplo efeito. Estes equipamentos, apesar de terem solucionado problemas a nível industrial, como alcançar altas concentrações de sólidos no produto final, escassa formação de incrustações nas superfícies de aquecimento, altos valores de coeficiente de transferência de calor e operação a baixas temperaturas (aproximadamente 60°C), ainda assim apresentam tempos de residência consideravelmente prolongados (GUASTALLA, 1968).

Os tempos de residência dos evaporadores Rossi i Catelli (3.500 a 20.000 kg/h de água evaporada) e do "Titano" (3.000 kg/h a 23.000kg/h de água evaporada) são de 30 a 90 min e 60 min ou mais, respectivamente (MANNHEIM & PASSY, 1974). Esses valores, considerados elevados, afetam negativamente a qualidade sensorial (cor, aroma e sabor) e nutritiva (vitaminas) do produto final. Segundo GOOSE & BINSTED (1973) períodos prolongados de contato do suco com as superfícies de aquecimento do evaporador podem prejudicar a cor e o sabor dos produtos de tomate, ainda que a operação seja realizada com alto vácuo e baixa temperatura.

No caso do processo de evaporação em contra-corrente, como nos evaporadores mencionados, anteriormente, o suco é aquecido de maneira gradual em cada efeito, atingindo temperaturas maiores à medida que aumenta a concentração. Neste processo, o aumento da viscosidade é menos acentuado. No entanto, registraram-se maiores alterações das características iniciais do produto quando comparado com o sistema de alimentação de corrente paralela (LEONI & BELLUCCI, 1980).

A cor dos produtos de tomate têm uma grande influência sobre a sua qualidade e aceitação. A intensidade da cor é afetada pela concentração dos pigmentos, pela estrutura física do alimento e pela maneira de dispersar a luz. Durante o aquecimento prolongado, alteram-se as estruturas físicas e promove-se o complexamento de pigmentos com outros constituintes biológicos, modificando a cor e incentivando outras mudanças químicas (WOOLFE, 1979).

O uso de frutos verdes no processamento de tomate pode causar descoloração durante o aquecimento devido à conversão de clorofila em feofitina (ADAMS & BLUNDSTONE, 1971). Segundo HACKINNEY & WEST apud WOOLFE (1979), o anel "chlorin" da clorofila é estável ao calor; porém, o íon magnésio central é lábil. Na presença de ácidos orgânicos, liberados dos tecidos do fruto, o anel perde o íon magnésio, mudando a cor verde brilhante (clorofila) para verde oliva (feofitina).

Para COLE & KAPUR (1957), o aquecimento do purê de tomate livre do soro causa degradação do licopeno, na presença de oxigênio. A taxa de degradação do licopeno, medida pela perda da cor, varia conforme a disponibilidade de oxigênio, a temperatura e a intensidade de iluminação. Segundo estes pesquisadores, na ausência dos compostos voláteis carbonílicos, característicos dos sólidos do soro, a formação de acetona e metilheptenona, pode ser atribuída à degradação do licopeno por oxidação.

Durante o processamento do suco, os carotenóides, como moléculas altamente insaturadas, são suscetíveis à oxidação pelo oxigênio do ar, sendo este o principal fator de deterioração. O calor é outro fator que causa modificações na estrutura dos carotenóides. Porém, as operações unitárias do processamento de alimentos, têm um efeito mínimo sobre o conteúdo de carotenóides (WOOLFE, 1979).

De acordo com ADAMS & BLUNDSTONE (1971), há uma perda de 2% de licopeno, após o aquecimento da polpa de tomate por 1h a 65°C e de 15%, após 3h.

A perda de carotenóides totais acentua-se com o grau de concentração. Assim, em concentrados de tomate de 10, 15 e 20% de sólidos solúveis foram registradas perdas de 11, 22 e 57% de licopeno, respectivamente. A cor destes concentrados, medida no colorímetro Hunter, também diminuiu em matiz, saturação e brilho, com o aumento da concentração (NOBLE, 1975).

Na aplicação de calor aos mono e oligossacarídeos, ocorre o escurecimento, fenômeno que pode ser dividido em três categorias: caramelização (perda de água da molécula de açúcar, formando "açúcar anidro", seguido de reações de degradação e polimerização); pirolise (aquecimento severo sobre as moléculas de açúcar) e reação de Maillard (ocorrendo quando os açúcares redutores são aquecidos em presença de aminoácidos, em meio ácido ou alcalino (GREENWOOD & MUNRO, 1979).

Segundo DANZIGER et alii (1970) e OKITANI et alii (1983), a reação de Maillard é a principal causa de escurecimentos nos produtos concentrados de tomate, sendo os açúcares redutores e os aminoácidos responsáveis por tal fenômeno.

OKITANI et alii (1983) determinaram perdas de 40% dos aminoácidos totais devido ao tratamento térmico. Nestes experimentos, as perdas corresponderam principalmente ao ácido glutâmico, glutamina e ácido aspártico, não tendo sido registradas perdas nos aminoácidos aromáticos nem nos aminoácidos básicos.

Segundo KERTZ apud TANGLERTPAIBUL & RAO (1987), as substâncias pécticas e outros carboidratos de cadeia longa podem ser hidrolizados pelo calor, resultando moléculas pequenas e mudando suas propriedades coloidais. O material das paredes das células torna-se menos rígido e de menor tamanho quando o calor é aplicado.

Ao estudar o efeito do processamento térmico sobre os ácidos orgânicos em oito variedades de tomate, HAMDY & GOULD (1962) relataram a diminuição do ácido cítrico através do processamento, o desaparecimento de outros, como o ácido didroxitartárico e o aumento do ácido alfa ceto glutâmico. Segundo EL-MILADI et alii (1969), a proporção 15,5:0,4:1,0 dos ácidos cítrico:pirrolidone carbixílico:málico no suco de tomate foi alterada no processamento para 11,0:2,6:1,0. Observaram ainda que o processamento térmico do suco de tomate provocou perdas de amido e açúcares da ordem de 40% e 19,4%, respectivamente. A hidrólise do amido causou aumento de glucose e outros açúcares, de ácidos e produtos de degradação, como o hidroximetilfurfural. Segundo estes autores, a desnaturação da proteína resultou num aumento de aminoácidos livres. O maior aumento observado foi de ácido glutâmico e aspártico, de alanina e de treonina. Os aminoácidos glutamina e asparagina foram perdidos na formação de ácido pirrolidone carboxílico.

A consistência dos produtos de tomate pode ser alterada em etapas do processamento como na inativação enzimática (LUH & DAOUD, 1971), e no método de extração a quente ou a frio (MIERS et alii, 1970).

DEKAZOS (1972) observou o desenvolvimento de "callose" (polímero amorfo, formado de resíduos de glucose unidos através de ligações beta 1-3) como resultado dos danos mecânicos e do tratamento térmico. Este composto afeta a textura e viscosidade dos produtos processados de tomate.

MUDAHAR et alii (1986) observaram que a consistência do suco de tomate aumenta quando este é acidificado, provavelmente devido à alta concentração de pectina e presença de pectina de baixa metoxilação.

Segundo TRIFIRÓ et alii (1990), é evidente que soluções que contenham açúcares, aminoácidos e ácido ascórbico, como é o caso do suco de tomate, quando submetidas a tratamentos térmicos, particularmente drásticos, dão lugar ao fenômeno de escurecimento.

O efeito do processamento sobre os componentes voláteis presentes nos produtos de tomate tem sido estudado por SIESO & CROUZET (1977), mediante uma combinação de cromatografia gasosa e espectrometria de massa. Após tratamento térmico prolongado, a maioria dos voláteis diminuem ou desaparecem; porém, formam-se novos compostos induzidos pelo calor, como os derivados de furfural.

Segundo NELSON & HOFF (1969), os principais componentes do aroma de produtos aquecidos de tomate são o dimetilsulfeto e o linalol.

Para FENERCIOGLU & GOULD (1979), o efeito de baixas temperaturas (60°C) na concentração por longos períodos de tempo (75min), sobre a cor foi o mesmo que o de altas temperaturas (122°C) de esterilização para curtos períodos de tempo (42s).

Segundo BELITZ & GROSCH (1987), a destruição da vitamina A e dos carotenóides em produtos processados e armazenados pode ser de 5 até 40%. Na ausência de oxigênio e altas temperaturas (esterilização), as reações preferenciais são isomerização e fragmentação, enquanto que na presença de oxigênio, degradações oxidativas podem formar uma série de

produtos, alguns dos quais voláteis, podendo afetar de maneira indesejável o sabor.

Para STRODTZ et alii (1952), as perdas de caroteno causadas pelo processamento térmico são pequenas, mas mensuráveis.

A Tabela 6 apresenta, o conteúdo de vitaminas presentes no tomate fresco, suco e concentrado.

Tabela 6. Composição de vitaminas do tomate fresco, suco e concentrado.

VITAMINAS	TOMATE FRESCO	SUCO	CONCENTRADO
Vitamina A (UI)	610	575	512
Vitamina C (mg/100g produto)	16,5	8,2	---
Tiamina (mg/100g produto)	0,042	0,042	0,041
Riboflavina (mg/100g produto)	0,040	0,031	0,024
Niacina (mg/100g produto)	0,570	0,720	0,780

Fonte: ABDEL-HAMID (1982).

Segundo ABDEL-HAMID (1982), existe uma diferença significativa entre os dados. Assim, o tomate fresco é a melhor fonte de vitaminas, exceto para niacina, cuja presença foi levemente superior no concentrado de tomate. Durante o processamento, a niacina é parcialmente hidrolizada pelos ácidos, conservando, porém, a atividade biológica. Por outro lado, a niacina é geralmente estável ao calor, luz, oxigênio e alcali. Como consequência do processamento, o concentrado de tomate é relativamente uma fonte pobre de vitaminas, exceto para a niacina.

A preservação do teor de ácido ascórbico nos diferentes processamentos de alimentos é de considerável importância. Durante o processamento, o ácido ascórbico pode-se oxidar para ácido deidroascórbico, o qual, por oxidações posteriores, degrada-se em produtos que não possuem atividade vitamínica. A taxa de oxidação é dependente da disponibilidade de oxigênio e da alta temperatura de trituração. A baixa retenção de ácido ascórbico deve-se ao processamento do purê a alta temperatura (SHERKAT & LUH, 1976). Segundo MUDAHAR et alii (1986), a oxidação do ácido ascórbico é retardada com o abaixamento do pH. Para GOULD (1978), o teor de ácido ascórbico não é um fator significativo na degradação da cor do suco de tomate processado.

## 2.5. PROCESSO DE RECOMBINAÇÃO: SORO CONCENTRADO E POLPA

Devido às dificuldades e ao efeito desfavorável do calor sobre a qualidade sensorial e nutritiva do produto no processo industrial convencional de concentração do suco integral de tomate, PIMAZZONI (1961) obteve concentrado de tomate pelo método de separação centrífuga do soro e da polpa, com posterior concentração do soro e recombinação (Figura 2).

Segundo SONE apud JIMÉNEZ & DURÁN (1979), o suco de tomate é uma suspensão num sistema coloidal ou uma suspensão composta de uma fase dispersa (polpa) e outra dispersante (soro).

Por centrifugação, PIMAZZONI (1961) separou o suco de tomate em duas frações: polpa e soro. A polpa contém essencialmente todos os insolúveis, tais como a celulose, a hemicelulose, a lignina, os colóides, os constituintes essenciais do sabor, 91% do licopeno, 80% do beta-caroteno (PIMAZZONI, 1961; SULC, 1976), compostos pécticos insolúveis em água, resíduos de



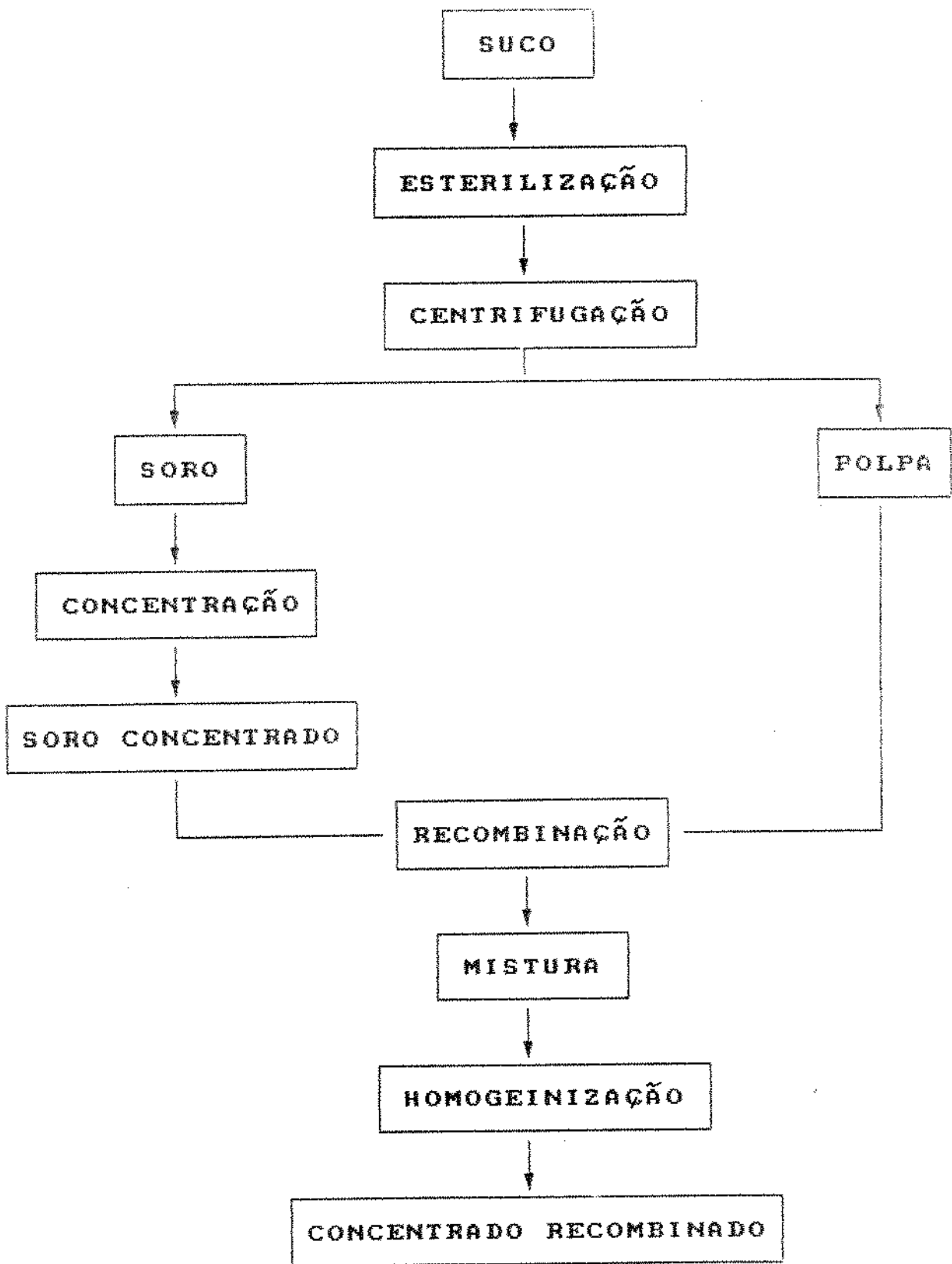


Figura 2. Fluxograma do processo de recombinação para obtenção de concentrado de tomate.

Fonte: PIMAZZONI, 1961.

estruturas celulares (HOLDSWORTH, 1971) e material citoplasmático (LINDNER et alii, 1984). O soro contém de 4 a 7% de sólidos solúveis, constituídos por açúcares, ácidos orgânicos, pectina, alguns elementos como: nitrogênio, magnésio, fósforo e cálcio, pigmentos e aproximadamente 90% de água (PIMAZZONI, 1961, EUA Pat. 3.172.770, 1965, HOLDSWORTH, 1971, SULC, 1976 e LINDNER et alii, 1984).

Eliminados os efeitos dos colóides, o soro apresenta-se como um líquido aproximadamente newtoniano de fácil evaporação, que pode ser realizada em qualquer tipo de evaporador a vácuo (EUA Pat. 3.864.504, 1975). Os valores dos coeficientes de transferência de calor do soro são altos, não havendo, portanto, perigo de formação de incrustação nas superfícies de aquecimento dos evaporadores (MANNHEIM & PASSY, 1974).

PIMAZZONI (1961) descreveu a concentração do suco de tomate, pela separação centrífuga como um processo contínuo. O suco fresco de tomate é transferido por uma bomba ao esterilizador, que inativa as enzimas pécnicas, as bactérias e os fungos, contidos no suco para que não sejam levados ao ciclo de processamento. Esta operação é realizada em cerca de 20 segundos, a temperatura de 90°C. O líquido passa imediatamente pela centrífuga, enquanto o soro obtido é continuamente concentrado em um evaporador de filme ou tipo "flash". Nesta operação, o soro, que é alimentado por uma bomba no centro do rotor, é lançado contra as paredes de aquecimento, sofrendo evaporação ultra-rápida. O evaporado do líquido toma direção helicoidal provocada pela ação do guia. O tempo de contato com a superfície de aquecimento é controlado pela inclinação das lâminas e pela velocidade de rotação do conjunto do rotor. Nesse equipamento, o soro de tomate pode ser concentrado acima de 50% de sólidos totais, e, em alguns casos, a razão de concentração pode ser de 7:1. A seguir, o soro concentrado é removido do evaporador por uma bomba e transportado a um misturador, onde é recombinado com

a polpa previamente separada. Desta forma, o concentrado final obtido resulta da mistura do soro concentrado a temperatura relativamente baixa e da polpa centrifugada, a qual é essencialmente polpa fresca, aumentando o teor de sólidos insolúveis. O produto tem partes grosseiras do tomate, que passam através dos furos da peneira e partículas filiformes, que não foram refinadas, tornando-se, assim, necessária a passagem do concentrado do misturador ao homogeneizador. Esta operação de homogeneização não é simples, mas proporciona uma desintegração celular quase total, com diâmetro das partículas inferior a 30 micra. Tal desintegração permite aumento da digestibilidade e exaltação do sabor e da fragrância do produto acabado. A mistura concentrada forma um composto homogêneo, que conserva quase integralmente as vitaminas contidas no suco fresco inicial, com seu aroma característico.

Neste processo, deve-se ter um cuidado especial para conseguir uma mistura do soro concentrado e da polpa nas proporções adequadas. Frequentemente, partes de polpa podem ser descartadas, resultando num produto final não satisfatório, com relação a sua viscosidade e estabilidade (MANNHEIM & PASSY, 1974).

O misturador estático é utilizado em processos contínuos com alta perda de carga em curto percurso da mistura, como é o caso do soro concentrado e polpa de tomate, de diferentes características reológicas e concentrações. Esta unidade de mistura consiste de determinado número de elementos de mistura no interior dos tubos, os quais são torcidos de 90° sucessivamente, em relação ao anterior. Estes elementos de mistura dividem continuamente a corrente de suspensão em películas, espalhando-a em diversas direções em relação à seção normal da corrente, de maneira que a homogeneização seja completa.

RADFORD et alii (1974) estudaram a distribuição dos componentes voláteis do soro e da polpa de suco de laranja, limão e maçã. Os dados obtidos sugerem que a polpa pode ter influência importante no sabor destes sucos. No suco de laranja, as análises mostraram que a porcentagem de polpa modifica tanto os atributos de intensidade quanto o balanço total do aroma; entretanto, os voláteis presentes no soro, em geral compostos oxigenados contribuem bastante para o aroma do suco. Os autores concluíram que os principais compostos voláteis presentes na polpa são hidrocarbonos e estes podem ser melhor preservados se a polpa não for submetida a tratamentos térmicos drásticos.

A evaporação da fração soro apresenta algumas vantagens sobre o processo de evaporação do suco integral. Dentre elas, destaca-se para o tipo de evaporador (EUA Pat. 3.864.504, 1975), o custo (devido ao investimento do tipo de evaporador e ao consumo de vapor), o coeficiente de transferência de calor, (maior no soro), devido ao tipo de fluido e a uma menor queda de temperatura no filme, resultando num curto tempo de evaporação (KOPELMAN & MANNHEIM, 1964). Além disso, é possível variar e corrigir o conteúdo de ácido e açúcar e também a cor. O processo completo é de curta duração e feito em circuito fechado a vácuo (PIMAZZONI, 1961).

Na comparação entre o concentrado obtido pelo método convencional e o obtido pelo método de recombinação do soro concentrado e polpa, MANNHEIM & KOPELMAN (1964) registraram uma grande diferença na consistência, que é menor para o produto obtido por recombinação, e que foi também detectada sensorialmente. Com relação a outros atributos sensoriais (cor, sabor, aroma), foram encontradas diferenças. No entanto, a diferença significativa foi apenas de textura (consistência). Segundo estes pesquisadores, a mistura da polpa fresca de tomate e do soro concentrado não compensa o efeito negativo de diminuição da consistência, causado pela centrifugação. Com

relação ao ácido ascórbico, os autores detectaram um maior conteúdo dessa vitamina no concentrado obtido pelo método convencional. As perdas de vitamina C, no concentrado recombinado, foram atribuídas à maior exposição ao calor e ao oxigênio na etapa de centrifugação.

Por outro lado, SULC (1976) revelou que o concentrado de tomate recombinado apresentou maiores teores de vitamina C e de beta-caroteno (precursor da vitamina A).

SULC (1976) também verificou perdas de licopeno (12,23%) e de beta-caroteno (11,59%) para o concentrado industrial convencional, e de 4,25% e 7,25%, respectivamente, para o concentrado recombinado. Além de apresentar menor conteúdo de hidroximetilfurfural, o concentrado de tomate recombinado também apresentou cor vermelha mais intensa.

A EUA Pat. 3.172.770 (1965), indica que o soro de tomate obtido por centrifugação e concentrado por evaporação a baixa temperatura ou pelo processo de crioconcentração (que atinge aproximadamente 50<sup>o</sup>Brix), pode ser preservado por armazenamento a 0<sup>o</sup>C ou por adição de sal (80% saturação). Desta forma, retém-se o sabor do soro de tomate por longos períodos de tempo. A polpa previamente congelada e o soro concentrado podem ser misturados posteriormente para a preparação dos produtos de tomate, mantendo o sabor do suco de tomate fresco.

A EUA Pat. 3.404.012 (1968), indica o processo de crioconcentração do soro de tomate obtido por centrifugação do suco.

PELEG & MANNHEIM (1970), na comparação do método convencional "Cut back" com o de recombinação da polpa e do soro para obtenção de concentrado congelado de suco de laranja, não

encontraram diferenças significativas na cor, no pH, na acidez e no teor de ácido ascórbico. Organolepticamente, o concentrado recombinado foi preferido, provavelmente, devido ao maior teor de óleos essenciais provenientes da polpa e ao agradável "bouquet" similar ao suco fresco.

MORETTI et alii (1980) estudaram a aplicabilidade do método de separação centrífuga, seguido da recombinação do soro concentrado e da polpa, na obtenção de concentrado de mamão. Estes autores concluíram que, utilizando evaporadores simples, o soro pode atingir concentrações elevadas e que, ao separar a polpa na sua concentração original e preservá-la até o momento da recombinação, esta confere ao produto concentrado aroma e sabor de suco de mamão fresco.

A EUA Pat. 3.864.504 (1975), indica o processo para obtenção de concentrado baseado na evaporação do soro separado do tomate. O soro a partir do suco é obtido por precipitação das cargas negativas dos colóides do tomate com cations polivalentes (ions cálcio). A seguir, o soro foi concentrado a vácuo em evaporadores tubulares ou de filme. A fração do soro concentrado é homogeneizada com uma quantidade proporcional da fração coloidal e com adição de 0.5% de ácido fosfórico ou 1% de fosfato de sódio, obtendo-se, assim, um concentrado de tomate de cor vermelha mais intensa que o concentrado obtido pelo método convencional, aparência atraente e aroma similar ao do tomate.

O processo do soro e da polpa separado por centrifugação e posterior recombinação não pode ser aplicado a todos os sucos de frutas. Em alguns casos, o soro separado contém muita polpa e/ou a polpa, muita água (MANNHEIM & PASSY, 1974).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS:

#### 3.1. MATERIAL:

##### 3.1.1. Matéria-prima:

Utilizaram-se como matérias-primas, suco simples (4,3<sup>o</sup>Brix) e purê (12,9<sup>o</sup>Brix) de tomate do mesmo lote de produção, da safra 1990, para a simulação do processo em laboratório. Suco parcialmente concentrado (1) (9,6<sup>o</sup>Brix) e concentrado (30<sup>o</sup>Brix) de diferentes lotes de produção da safra 1991, para a simulação do processo em planta piloto, sendo aproximadamente 70% da variedade IPA-5, fornecidos pela Cia. Industrial e Mercantil Paoletti, Aracatuba, S.P.

O suco simples, purê e concentrado foram embalados em vidros e em latas e esterilizados, e o suco parcialmente concentrado (1) em baldes plásticos e armazenados sob refrigeração, para o desenvolvimento da pesquisa.

##### 3.1.2. Equipamentos e aparelhos:

Além dos materiais comumente utilizados no laboratório, também foram usados:

- Centrífuga, FANEM, modelo 216.
- Centrífuga, FANEM, modelo FR-22
- Bomba de vácuo, FANEM, modelo CA.
- Liofilizador, VIRTIS, modelo 10.146 MR-BA.
- Centrífuga super-d-canter, PFAUDLER, modelo No.21L, Serial No. D601
- Evaporador Centri-therm, ALFA LAVAL, Tipo CT-1B
- Espectrofotômetro, MÍCRONAL, modelo B 342II.

- Mufla com controle de temperatura, FARLABO Ltda.
- Espectrofotômetro, UNICAM, modelo SP 8000.
- Refratômetro, AO ABBE MARK II, modelo 10480.
- Consistômetro, tipo Bostwick.
- Reômetro, CONTRAVES, modelo Rheomat 115.
- Microscópio ótico, CARL-ZEISS, modelo Standard 14.
- Espectrofotômetro, COMCOR 1500 Plus.
- Colorímetro de discos Macbeth-Munsell, MACBETH.
- pHmetro, MICRONAL, modelo B 374.

### 3.2. METODOLOGIA DOS PROCESSOS:

#### 3.2.1. Simulação em laboratório:

##### 3.2.1.1. Otimização das variáveis do processo de centrifugação:

Nesta etapa utilizaram-se três matérias-primas, suco simples com 4,3°Brix, suco parcialmente concentrado (2) com 8,6°Brix (mistura 1:1 suco:purê (p:p)) e purê com 12,9°Brix, e foram submetidas a centrifugação para separação em duas frações, soro e polpa, visando eleger a matéria-prima que, em determinadas condições de centrifugação (tempo e número de gravidades), permitisse a obtenção de pelo menos 60% de soro e 40% de polpa. Para tal fim, foram testados os tempos de 10 e 20 minutos, e forças centrífugas equivalentes a 2000, 2100 e 2200 x g.

Para a quantificação das frações utilizaram-se tubos de fundo cônico, graduados, de 50 ml. O teor de polpa é expresso em porcentagem (v/v).



### **3.2.1.2. Centrifugação:**

Foram centrifugados 10 quilos de purê de tomate (12,9°Brix) em centrífuga refrigerada a 25°C e 2200 x g por 20 minutos.

O soro foi retirado com auxílio de uma bomba de vácuo e coletado num kitasato. O soro e a polpa foram colocados, respectivamente, em bandejas de alumínio e frascos de vidro previamente esterilizados e congelados para posterior processamento.

### **3.2.1.3. Caracterização das propriedades reológicas do soro e polpa:**

As propriedades reológicas das frações obtidas no processo de centrifugação, soro e polpa (12,9°Brix), foram avaliadas à temperatura de 30°C segundo a metodologia descrita no Item 3.3.2.5.

### **3.2.1.4. Preparação do soro concentrado:**

Para a preparação do soro concentrado, o soro foi liofilizado e posteriormente armazenado a temperatura de -17°C e dissolvido nas concentrações de 55, 60 e 65°Brix, com água destilada, quando necessário para o estudo reológico e formulação do produto final.

### **3.2.1.5. Caracterização das propriedades reológicas do soro liofilizado dissolvido:**

Determinaram-se as propriedades reológicas do soro dissolvido a 55, 60 e 65°Brix seguindo a metodologia do item

3.3.2.5 às temperaturas de 55, 60 e 65°C.

#### **3.2.1.6. Recombinação: soro liofilizado dissolvido e polpa:**

Mediante balanço de massa dos sólidos solúveis provenientes do soro liofilizado dissolvido a 65°Brix e da polpa a 12,9°Brix, determinou-se a concentração do produto final, levando-se em conta que na centrifugação houve separação de 40% de polpa e 60% de soro. As porcentagens de cada fração no produto final foram calculadas mediante o quadrado de Pearson. A mistura foi manual até o produto ter uma aparência homogênea e a concentração desejada.

O produto foi diluído a 24°Brix com água destilada para as análises.

#### **3.2.1.7. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado re combinado:**

Determinaram-se as propriedades reológicas do concentrado re combinado (24°Brix) seguindo a metodologia do item 3.3.2.5 às temperaturas de 30, 55, 60 e 65°C.

#### **3.2.2. Simulação em planta piloto:**

Para esta simulação do processo, utilizou-se suco de tomate parcialmente concentrado (1) (9,6°Brix) com 1,8% de sal e com adição de 250 ppm de benzoato de sódio como conservador.

##### **3.2.2.1. Centrifugação:**

Foram centrifugados 106 quilos de suco parcialmente concentrado (1) previamente homogeneizado, na centrífuga super-d-

canter, a uma força centrífuga equivalente a 3500 x g e com uma vazão de alimentação de 6,5 kg/min.

A polpa foi armazenada sob refrigeração, imediatamente após a centrifugação e o soro prosseguiu processamento, conforme a Figura 3.

#### 3.2.2.2. Caracterização das propriedades reológicas do soro e polpa:

Determinaram-se as propriedades reológicas do soro e da polpa seguindo a metodologia do item 3.3.2.5. à temperatura de 30°C.

#### 3.2.2.3. Concentração do soro:

Foram concentrados 91,8 quilos de soro no evaporador centrífugo. O soro foi alimentado ao evaporador à temperatura de 50°C e vazão de 11,4 l/h, a uma pressão no concentrador de 0,82 kg/cm<sup>2</sup> e uma temperatura evaporação de 60°C. O soro atingiu a concentração de 67,8°Brix.

#### 3.2.2.4. Caracterização das propriedades reológicas do soro concentrado:

Determinaram-se as propriedades reológicas do soro concentrado (67,8°Brix) e do soro diluído nas concentrações de 53,5, 59,8 e 65°Brix, usando água destilada na diluição, segundo a metodologia do item 3.3.2.5. à temperatura 60°C.

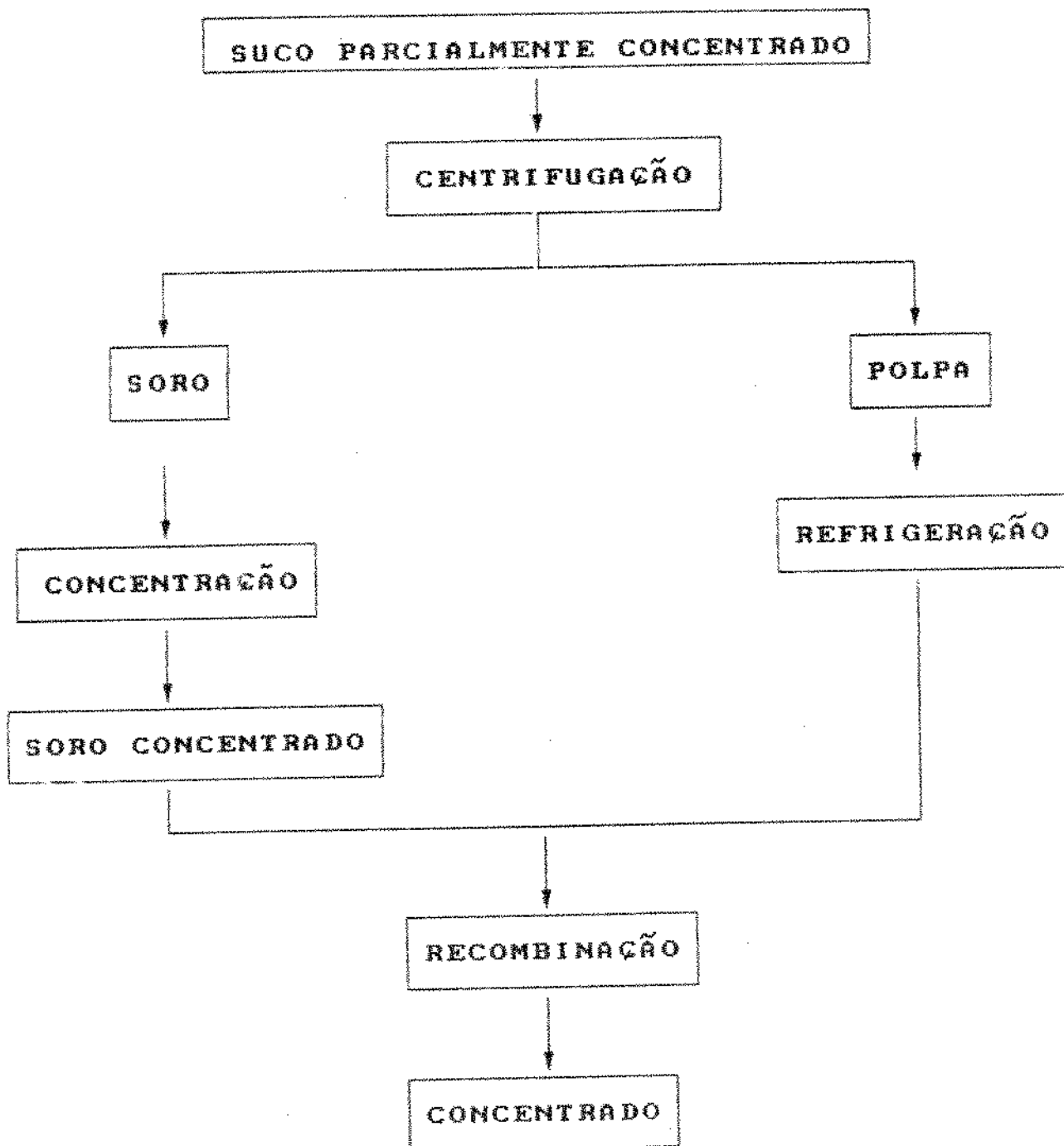


Figura 3. Fluxograma do processo de obtenção do concentrado recombinação de tomate, simulado em planta piloto.

### **3.2.2.5. Recombinação: soro concentrado e polpa:**

Visando-se a obtenção de um concentrado recombinação que mantivesse as proporções de cada fração (soro e polpa) iguais ao suco parcialmente concentrado (1) (matéria-prima) fez-se um balanço de massa (Anexo 1).

A mistura foi manual até o produto ter uma aparência homogênea.

O produto foi diluído a 24°Brix com água destilada para as análises.

### **3.2.2.6. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado recombinação:**

Determinaram-se as propriedades reológicas do concentrado recombinação (24°Brix) segundo a metodologia do item 3.3.2.5 às temperaturas de 40, 55, 60 e 65°C.

### **3.2.3. Processo industrial convencional:**

O concentrado fornecido pela Cia. Industrial e Mercantil Paoletti, foi obtido pelo processo que sucintamente é descrito a seguir:

Após trituração a quente "Hot-break" e despulpamento, o suco de tomate foi concentrado no evaporador Titano SR 2B.

Durante o processo, o suco foi parcialmente concentrado no segundo efeito, à temperatura de 40°C. Através de uma válvula, foi controlada sua passagem para o primeiro efeito. Neste efeito, a temperatura de evaporação foi próxima a 64°C.

atingindo concentração final de 30 - 32<sup>o</sup>Brix.

Para poder comparar este produto industrial com o processo de centrifugação em planta piloto, foram adicionados 1,8% de sal e 250 ppm de benzoato de sódio no suco parcialmente concentrado (1) (9,6<sup>o</sup>Brix) que foi utilizado no processo de centrifugação.

O produto foi diluído a 24<sup>o</sup>Brix com água destilada para as análises.

#### **3.2.3.1. Caracterização das propriedades reológicas do soro:**

O concentrado industrial convencional foi diluído com água destilada a 9,6<sup>o</sup>Brix e centrifugado a 3500 x g, com o fim de determinar e comparar as propriedades reológicas do soro, que foram avaliadas à temperatura de 30<sup>o</sup>C segundo a metodologia descrita no Item 3.3.2.5.

#### **3.2.3.2. Caracterização das propriedades reológicas do concentrado industrial convencional:**

Determinaram-se as propriedades reológicas do concentrado recombinado (24<sup>o</sup>Brix) segundo a metodologia do item 3.3.2.5 às temperaturas de 40, 55, 60 e 65<sup>o</sup>C.

### **3.3 MÉTODOS:**

As seguintes determinações foram realizadas nas matérias-primas (suco simples, sucos parcialmente concentrados, purê) e nos produtos terminados (concentrados).

### 3.3.1. Determinações químicas:

3.3.1.1. Acidez Total: Segundo o método 22.038 da AOAC (1984). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico usando 10 g de amostra.

3.3.1.2. Açúcares Totais: Os açúcares totais foram determinados colorimetricamente após reação com antrona, segundo a metodologia descrita por DREYWOOD, (1946). Os açúcares foram extraídos com álcool etílico 80%, e os resultados foram expressos em porcentagem (p/p).

3.3.1.3. Relação °Brix/Acidez: Pela divisão direta dos °Brix corrigido e acidez total, expressa em porcentagem de ácido cítrico.

3.3.1.4. Açúcares Redutores: Segundo o método colorimétrico de SOMOGGY, adaptado por NELSON (1944). Os resultados foram expressos em porcentagem de glicose (p/p).

3.3.1.5. Açúcares não Redutores: Por diferença direta entre os açúcares totais e os redutores, e multiplicados pelo fator de correção 0,95.

3.3.1.6. Teor de Cinzas: Segundo o método 22.027 da AOAC (1984).

3.3.1.7. Atividade de Pectinesterase: Foi determinada pelo método utilizado pela FMC Corporation, descrito por REED et alii (1986). Os resultados foram expressos em atividade da enzima pectinesterase vezes  $10^3$  por grama de sólidos solúveis.

**3.3.1.8. Ácido Ascórbico:** Foi determinado segundo a metodologia descrita por CONTRERAS & STRONG (1984). Os resultados foram expressos em mg de Vitamina C por 100g de amostra.

**3.3.1.9. Carotenóides Totais e valor de Vitamina A:** Foi utilizado o método cromatográfico descrito por RODRIGUEZ et alii (1976).

Para extração dos pigmentos, 5g de amostra foram pesadas e trituradas em um liquidificador com acetona resfriada. O produto triturado foi posteriormente filtrado através de um funil Bücher. A operação foi repetida até o resíduo se tornar incolor. Os pigmentos dissolvidos em acetona foram transferidos quantitativamente para éter de petróleo, em funil de separação, lavando-se com porções de água destilada até a remoção completa de acetona. O extrato foi evaporado em rotaevaporador e o volume ajustado para 25ml.

O conteúdo de carotenóides totais, foi determinado espectrofotometricamente, com absorção máxima a 447nm e os resultados foram expressos em ug/grama de amostra.

O extrato de éter de petróleo, contendo os carotenóides, foi então concentrado, e cromatografado em coluna de vidro empacotada com Hiflo:MgO (2:1) para separação do beta-caroteno (principal pigmento carotenóide pró-vitamínico do tomate). Uma quantidade pequena de sulfato de sódio anidro foi colocada no topo da coluna para reter a água residual da amostra. Como fase móvel utilizou-se 4% de éter etílico em éter de petróleo.

A solução de beta-caroteno foi lida em espectrofotômetro e a quantificação feita a partir da absorbância máxima, utilizando-se a Lei de Beer. O valor de absortividade ( $A_{1\%}^{1\text{cm}}$ ) empregada foi de 2592 (DAVIES, 1976).

O valor de vitamina A foi calculado levando-se em consideração a atividade pró-vitamínica do beta-caroteno (100%) tabelado por BAUERNFEIND, (1972) calculado de



acordo com NAS-NRC (1980).

### 3.3.2. Determinações físicas:

3.3.2.1. **Sólidos Solúveis (<sup>o</sup>Brix):** O teor de sólidos solúveis foi determinado num refratômetro digital com correção de temperatura.

3.3.2.2. **Teor de Polpa:** Segundo o método recomendado pela D.O.C., descrito por REED et alii (1986) adaptado para tomate, por centrifugação com força centrífuga equivalente a 365 x g por 10 minutos. Em tubos de 50 ml graduados de fundo cônico, à temperatura 25°C. Os resultados foram expressos em porcentagem (v/v).

3.3.2.3. **Teor de Umidade:** Segundo o método 22.014 da AOAC (1984).

3.3.2.4. **Consistência:** Segundo a metodologia descrita no NATIONAL CANNERS ASSOCIATION (1968).

A amostra foi colocada no consistômetro Bostwick previamente diluída (12<sup>o</sup>Brix) com água destilada e homogeneizada, e à temperatura de 25°C.

Os resultados foram expressos em centímetros percorridos, para tempo de escoamento de 30 segundos.

3.3.2.5. **Viscosidade:** As medidas de viscosidade foram realizadas com o reômetro rotacional (cilindros concêntricos), nas seguintes amostras: suco simples, sucos parcialmente concentrados, purê, soro, soro concentrado, polpa e concentrado de tomate.

Para o desenvolvimento das medidas foi utilizado o sistema de cilindros concêntricos MS-DIN 145 com diâmetro do cilindro interno de 45,0mm, espessura do espaço anular entre o cilindro interno e externo de

1,9mm e altura do cilindro interno de 68mm, para todas as concentrações de sólidos solúveis e temperaturas.

As temperaturas utilizadas foram 30, 40, 55, 60 e 65°C. Foram tomadas aproximadamente 150ml de amostra, previamente homogeneizada e colocados no copo do aparelho. Após a amostra ter atingido a temperatura de trabalho, foram tomadas as leituras variando-se uma a uma as velocidades de rotação de forma crescente e decrescente, para observar possíveis variações.

O torque foi convertido em tensão de cisalhamento e a velocidade angular em taxa de deformação, calculada a partir das dimensões dos cilindros concêntricos. O método de Krieger foi empregado para corrigir a taxa de deformação.

Os parâmetros reológicos foram estimados por análise de regressão não linear. Utilizou-se o programa de NIEBERGALL et alii (1971), para obtenção de parâmetros reológicos de modelos com tensão residual por RAD & COOLEY (1983).

Os modelos aplicados foram os seguintes:

1. O modelo da lei da potência (Ostwald de Waele), onde a viscosidade aparente é dada pela equação:

$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

2. O modelo de Casson, que considera a tensão residual e é representado pela equação:

$$\tau^{1/2} - \tau_0 = k_c \cdot \dot{\gamma}^{1/2}$$

3. O modelo de Herschel-Bulkley, representado pela seguinte equação:

$$\tau - \tau_0 = k \dot{\gamma}^n$$

As viscosidades foram expressas em centipoise.

**3.3.2.6. Determinação do tamanho médio das partículas:** Para avaliar o tamanho das partículas suspensas, uma pequena amostra de concentrado de tomate foi diluída com água destilada até 2,85°Brix. Foi colocada uma gota da dispersão sobre a lâmina a qual foi coberta com uma lamínula e a seguir observada, no microscópio, com objetiva 5x e oculares 10x, estando uma das oculares equipada com régua micrométrica.

O tamanho de partículas (largura x comprimento) foi determinado em triplicata, por amostra. Para cada repetição foram feitas aleatoriamente 40 medidas. Os resultados foram expressos em mm<sup>2</sup>.

**3.3.2.7 Cor:** As amostras foram diluídas com água destilada a 8,5°Brix, homogeneizadas e posteriormente desaeradas para a análise.

a. Espectrofotômetro: Foram determinados os valores de L-Hunter (luminosidade), a (intensidade de vermelho) e b (intensidade de amarelo) por reflexão. Foi empregado iluminante C, ângulo de 10°, e a configuração DREOL do espectrofotômetro.

O índice de cor foi calculado pela fórmula:

$$I = a/b$$

b. Colorímetro de discos Mack-Beth Munsell: Foram lidas as porcentagens de cada cor: laranja (2,5 YR 5/12), preto (N 1), cinza (N 4) e vermelho (5 R 2,6/13), segundo a metodologia descrita por WOLCOTT et alii, 1980.

### 3.3.3. Determinações físico-químicas:

3.3.3.1. pH: O pH foi medido em potenciômetro digital. A calibração foi feita com soluções de pH 4.0 e 7.0, de acordo com a temperatura dos padrões e amostras.

### 3.4. ANÁLISE SENSORIAL:

#### 3.4.1. Material:

Para a seleção dos provadores foram utilizados três tipos de suco de tomate, obtidos do mesmo lote de matéria-prima a saber:

- a. Suco de tomate natural inativado.
- b. Suco de tomate reconstituído (4,7°Brix) com água destilada a partir do concentrado industrial.
- c. Suco de tomate reconstituído (4,7°Brix) com água destilada a partir do concentrado recombinação.

Para o treinamento da equipe sensorial selecionada foram utilizados as seguintes amostras:

- a. Purê de tomate comercial embalado em tetra-brik
- b. Purê de tomate comercial envasado em lata.
- c. Purê de tomate comercial envasado em lata aquecido em panela de pressão por 1 hora.

As amostras de purê de tomate avaliadas foram:

- a. Purê de tomate reconstituído com água destilada a partir do concentrado industrial.
- b. Purê de tomate reconstituído com água destilada a partir do concentrado recombinação.

### **3.4.2. Método:**

O método empregado foi a Análise Descritiva Quantitativa descrita por STONE & SIDEL (1985).

Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

As amostras foram servidas em cabines individuais devidamente implementadas, utilizando-se luz branca. Sempre no período da manhã, a partir das 9:30 horas. Os provadores receberam amostras de 25ml aproximadamente, servidas a temperatura ambiente, em bequers de 50ml, codificados com números de três dígitos. A ordem de apresentação das amostras foi variada de um provador para outro, segundo o delineamento de blocos completos balanceados.

A medida da intensidade de cada atributo foi obtida utilizando-se escalas não estruturadas de 9 cm.

#### **3.4.2.1. Seleção dos provadores:**

A equipe de provadores foi constituída de 12 membros, dos quais 3 eram homens e 9 mulheres, na faixa etária entre 20 e 35 anos, entre pesquisadores e técnicos com boa acuidade sensorial. Foram escolhidas pessoas que gostavam de suco de tomate e que participavam com frequência de testes sensoriais.

As amostras do suco utilizadas foram preparadas a partir dos concentrados de tomate obtidos pelo método industrial convencional e o método de recombinação, reconstituídas a 4,7°Brix com água destilada e suco de tomate natural inativado na mesma concentração.

Com esta equipe foram feitas, inicialmente, discussões com esclarecimentos sobre os objetivos do estudo e o reconhecimento da cor, aroma, sabor e consistência do produto. O modelo da ficha utilizada é apresentado na Figura 4.

Foram apresentadas para cada provador três amostras por sessão de prova sendo realizadas 4 repetições por amostra. Os testes foram conduzidos em 4 sessões durante 1 semana.

Na seleção, avaliou-se o provador em relação ao seu poder de discriminação, repetibilidade e concordância com a equipe, segundo DAMASIO & COSTELL (1991), considerando-se os quatro atributos avaliados (cor, aroma, consistência e sabor).

Para obter informação sobre a repetibilidade e o poder de discriminação destes provadores, foram realizadas análises de variância (ANOVA) de dois fatores (repetições e amostras) com os resultados de cada um dos atributos para cada um dos provadores.

Seguindo o critério de concordância, foi realizada uma comparação da ordem das médias das amostras da equipe com as médias de cada provador.

#### **3.4.2.2. Treinamento dos provadores:**

Foram utilizadas três amostras de purê de tomate comercial sendo uma delas embalada em tetra-brik e duas envasadas em latas. Uma das amostras envasada em lata, foi aquecida em panela de pressão por 1 hora, de modo a forçar o aparecimento de características indesejáveis no produto. As amostras foram diluídas à mesma concentração de 10,5°Brix com água destilada.

No treinamento da equipe, o purê embalado em tetra-brik representava o extremo superior da escala "bom", o da lata um produto "intermediário" e o purê de lata aquecido um produto "ruim" para os atributos de aroma e sabor. Para a cor a equipe não encontrou diferença entre o purê embalado em tetra-brik e aquele em lata, portanto as duas amostras foram consideradas "boas" e o purê em lata aquecido continuou sendo "ruim".

Em relação à consistência, esta foi determinada segundo a metodologia descrita no item 3.3.2.4. A amostra embalada em tetra-brik apresentou consistência Bostwick alta de 7cm, a da lata média de 10.5cm e a da lata aquecida baixa de 12cm, porém a equipe apresentou dificuldade no reconhecimento da média e baixa consistência entre as amostras.

Utilizando a ficha apresentada na Figura 5 e as amostras acima citadas, foram feitas novas discussões, e esclarecimentos sobre os atributos a serem avaliados no purê de tomate, definindo-se os pontos extremos da escala para os atributos de cor, aroma, consistência e sabor do produto.

Um teste individual na cabine utilizando as mesmas amostras e a mesma ficha foi realizado, de modo a avaliar a eficiência do treinamento.

#### **3.4.2.3. Realização dos testes:**

As amostras de purê de tomate utilizadas na análise sensorial final foram diluídas com água destilada a 10,5°Brix a partir dos concentrados obtidos pelo método de recombinação e convencional.

Foi adicionado, ao concentrado convencional, cloreto de sódio de forma que a percepção sensorial fosse igualada à

aquela do concentrado recombinação, já que a matéria-prima deste (suco parcialmente concentrado (1)) tinha sal. Ambas amostras continham 250 ppm de benzoato de sódio.

Os testes sensoriais foram conduzidos em 4 sessões durante 1 semana. Foram apresentadas para cada provador duas amostras por sessão de prova sendo realizadas 4 repetições por amostra.

### **3.4.3. Análises estatísticas:**

#### **3.4.3.1. Seleção dos provadores:**

Na seleção dos provadores, foi aplicada análise de variância dos dados obtidos, de dois fatores (amostras e repetições) para cada atributo e para cada provador.

#### **3.4.3.2. Avaliação das amostras:**

Aos dados obtidos na avaliação das amostras foram aplicadas análises da variância de três fatores (amostras, provador e repetições) para os atributos avaliados.



## ANÁLISE DOS SUCOS DE TOMATE

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Por favor, prove as amostras e avalie cada uma de acordo com as escalas.

No. Amostra

**COR**

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico

No. Amostra

**AROMA**

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico

No. Amostra

**SABOR**

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico

No. Amostra

**CONSISTÊNCIA**

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico.

-----

\_\_\_\_\_  
menos característico.      mais característico

Comentários \_\_\_\_\_

-----

Figura 4. Modelo de ficha utilizada na seleção da equipe de provadores.

## ANÁLISE DO PURÊ DE TOMATE

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Por favor, prove as amostras e avalie cada uma de acordo com as escalas.

No. Amostra	COR	
-----	Ruim	Boa
-----	Ruim	Boa
-----	Ruim	Boa

No. Amostra	AROMA	
-----	Ruim	Bom
-----	Ruim	Bom
-----	Ruim	Bom

No. Amostra	CONSISTÊNCIA	
-----	Baixa	Alta
-----	Baixa	Alta
-----	Baixa	Alta

No. Amostra	SABOR	
-----	Ruim	Bom
-----	Ruim	Bom
-----	Ruim	Bom

Comentários \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Figura 5. Modelo de ficha utilizada no treinamento e avaliação das amostras.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

##### 4.1. SIMULAÇÃO EM LABORATÓRIO:

##### 4.1.1. Condições de centrifugação para a separação da polpa e do soro:

Na Tabela 7 são apresentados os valores do teor de polpa obtido a partir da centrifugação de três produtos de tomate (suco simples (4,3<sup>o</sup>Brix), suco parcialmente concentrado (2) (8,6<sup>o</sup>Brix) e purê (12,9<sup>o</sup>Brix), com forças centrífugas equivalentes a 2000, 2100 e 2200 x g para 10 e 20 minutos.

Tabela 7. Valores do teor de polpa de diferentes produtos de tomate, submetidos a centrifugação variando o número de gravidades e os intervalos do tempo.

PRODUTO(°BRIX)	PORCENTAGEM DE POLPA (v/v)					
	2000 x g		2100 x g		2200 x g	
	10min	20min	10min	20min	10min	20min
Suco (4,3)	23,75	17,5	22,5	17,00	18,75	16,25
Suco parcial/ conc (2) (8,6)	38,75	32,5	35,75	31,25	33,75	30,00
Purê (12,9)	51,25	44,25	49,25	42,00	47,50	40,50

As Figuras 6 e 7 mostram o efeito na separação volumétrica da polpa, com variação do número de gravidades, para 10 e 20 minutos de centrifugação, respectivamente.

Nas Figuras 6 e 7 observamos que existe uma menor separação volumétrica da polpa em função do aumento de gravidades e do tempo de centrifugação, também reportado por TANGLERTPAIBUL

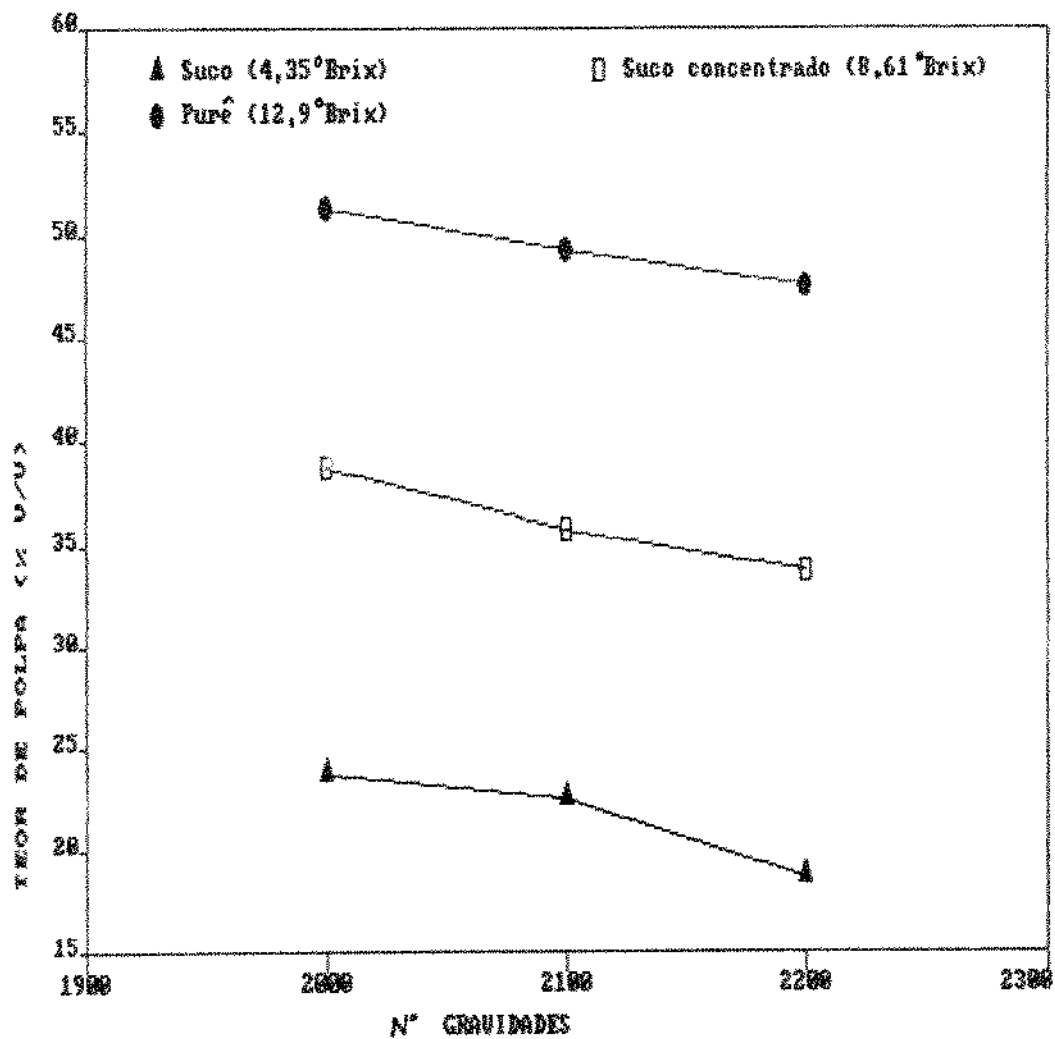


Figura 6. Teor de polpa (% V/V) das matérias-primas, a diversas forças centrífugas e 10 min de centrifugação.

& RAO (1987). Este fenômeno está relacionado com a diferença de densidade das fases (polpa e soro) e com a acomodação e compactação das partículas da polpa.

Observa-se na Tabela 7 que, com a centrifugação do suco simples e do suco parcialmente concentrado (2), nas condições citadas, obtêm-se frações de polpa nas faixas de 16 a 23% e 30 a 38%, respectivamente. Considerando que a concentração separada do soro permite a obtenção de um produto de 65°Brix (EUA Pat. 3.864.504, 1975), a mistura desse soro concentrado com a polpa centrifugada do suco simples e do suco parcialmente concentrado (2) permitiria a obtenção de um produto recombinado de 19 e 21°Brix, respectivamente. Estes produtos corresponderiam à classificação de concentrados simples, os quais não teriam grande interesse em nível industrial. Por outro lado, nessas condições de centrifugação, não se observou uma boa separação das frações, ou seja, o soro ficou bastante turvo, com um teor considerável de polpa em suspensão, o qual, posteriormente, poderia prejudicar a concentração do soro.

Com relação ao purê (Tabela 7) e repetindo as condições de concentração, poder-se-ia obter um produto recombinado de 24 - 26°Brix, produto esse muito próximo dos duplos concentrados, obtidos na indústria pelo método convencional.

Estes resultados permitem inferir que, do ponto de vista industrial, a matéria-prima que maiores vantagens apresentaria para a utilização do processo de separação centrífuga seria o purê de tomate, com uma concentração em torno de 12 - 13°Brix. Porém no teste em planta piloto, foi utilizado um suco parcialmente concentrado (1) (9,6°Brix), visto que na época era a única alternativa existente.

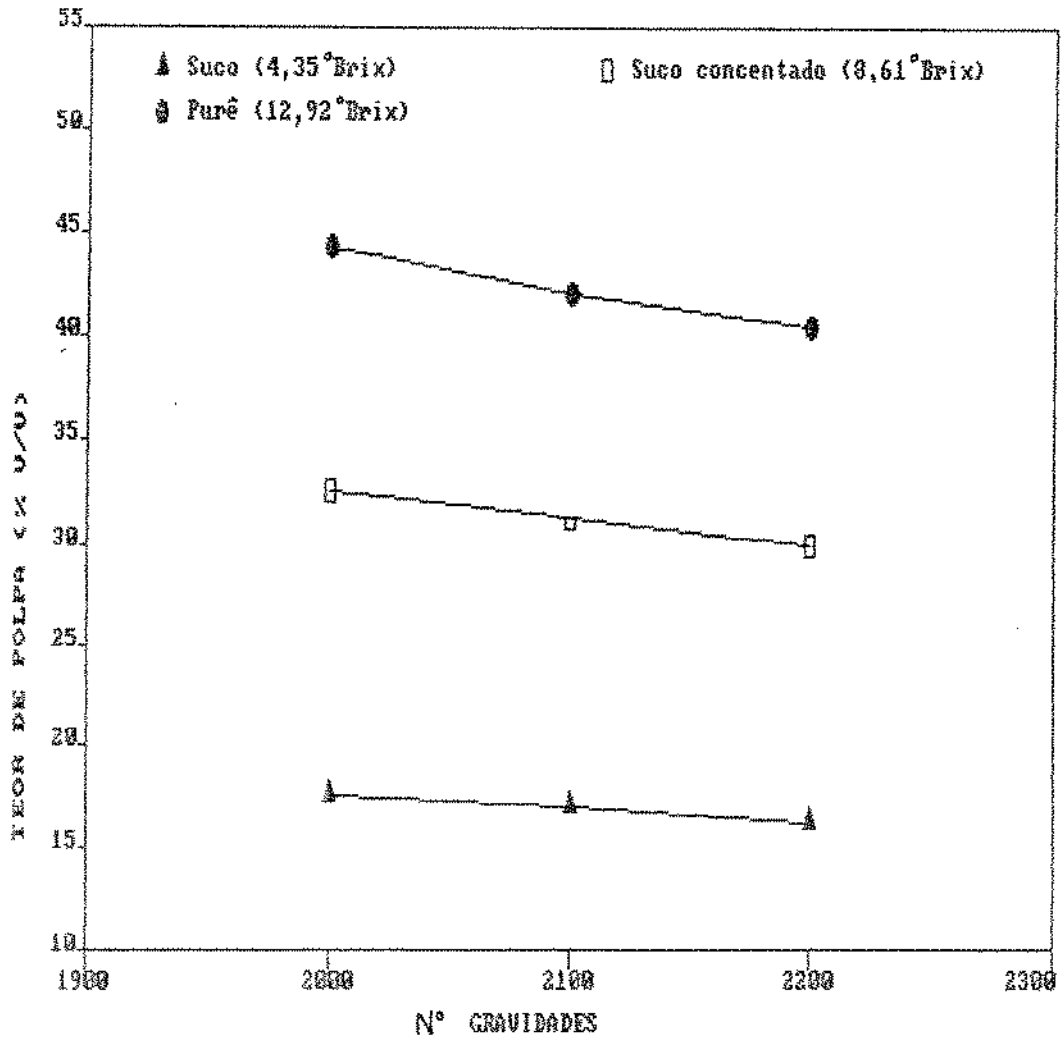


Figura 7. Teor de polpa (% V/V) das matérias-primas, a diversas forças centrífugas e 20 min de centrifugação.

#### 4.1.2. Caracterização das matérias-primas.

A Tabela 8 apresenta os resultados analíticos das características físicas, químicas e físico-químicas do suco simples tratado termicamente, do suco parcialmente concentrado (2) e do purê de tomate, que se destinaram aos estudos das condições de centrifugação e à elaboração dos concentrados de tomate no processamento simulado em laboratório.

Quanto ao valor do pH do suco (4,59), este foi ligeiramente superior aos valores relatados (4,1 - 4,55) por BERNHARDT et alii (1977a), apesar de ambos procederem de variedades industriais semelhantes. Em relação aos ácidos orgânicos, expressos pela acidez total, o suco apresentou teores relativamente inferiores (0,272%) que os citados pelos mesmos autores, o que era de se esperar.

Com relação ao teor de sólidos solúveis do suco simples (4,35°Brix) este coincide com os valores citados por diversos autores (BERNHARDT et alii, 1977a; GALVIS, 1987) que têm relatado teores de sólidos solúveis entre 4,4 - 6,2°Brix para as variedades cultivadas no Estado de São Paulo. No entanto, este teor é baixo quando comparado com variedades de outros países, devido às diferenças de intensidade da luz, horas de insolação e as condições climáticas (HOBSON & DAVIES, 1971). Um baixo teor de sólidos solúveis no suco (em torno de 4,0°Brix) resulta em baixo rendimento industrial e propriedades organolépticas inferiores do concentrado (GUASTALLA, 1968). Isto porque, partindo-se de um valor menor de Brix, a quantidade de água a ser evaporada, para se atingir a concentração desejada, será maior. Com isto, duas consequências principais resultarão no processo de concentração: maior gasto de energia (mais tempo no concentrador), maior evaporação de voláteis e maior influência negativa do calor sobre o produto final.

Tabela 8. Caracterização química, física e físico-química da matéria-prima.

DETERMINAÇÕES	SUCO SIMPLES	SUCO PARCIAL/ CONCENTRADO (2)	PURÊ
°Brix corrigido	4,35	8,61	12,92
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	0,272	0,551	0,840
°Brix/Acidez	15,99	15,63	15,38
pH	4,59	4,48	4,42
Umidade (%)	95,88	91,76	87,08
Cinzas (%)	1,26	1,96	2,03
Açúcares totais (%)	2,64	5,09	7,70
Açúcares redutores (%)	2,27	4,40	6,58
Açúcares não redutores (%)	0,37	0,69	1,12
Atividade PE ( $10^3/g$ ss)	0,0	0,0	0,0
Carotenóides totais ( $\mu g/g$ )	76,57	164,14	208,29
Vitamina A (UI/100g)	828,33	1063,37	1595,67
Vitamina C (mg/100g)	4,94	9,07	14,82
Teor de polpa (%)	43,75	68,75	96,75
Cor L	22,5	23,2	22,9
a	20,9	23,8	24,2
b	11,5	11,6	11,9
Índice de cor a/b	1,82	2,05	2,03
Viscosidade (cp) (*)	9,96	23,40	64,78

(\*) Viscosidade a 90,7rpm e 30°C.

Entretanto, a relação °Brix/Acidez encontrada neste produto (15,99), do ponto de vista da formação do sabor e aroma parece muito adequada.

O teor de açúcares totais (2,64%) encontra-se dentro da faixa esperada (2,0 a 5,33%) conforme BERNHARDT et alii



(1977a), sendo quantitativamente mais importantes os açúcares redutores (2,27%), que constituem 86% dos açúcares do suco. Este alto teor de açúcares redutores indica que a matéria-prima empregada estava no ponto de maturação adequado.

Mediante a atividade de pectinesterase (PE), comprovou-se a eficácia do tratamento térmico utilizado pela indústria, pois as amostras analisadas não apresentaram atividade residual de pectinesterase.

Em relação aos pigmentos naturais, principalmente à presença de licopeno e outros carotenóides responsáveis pela cor vermelha no tomate, o índice a/b encontrado no colorímetro Hunter foi 1,82, para o suco simples tratado termicamente. Valor considerado bom, do ponto de vista comercial, já que a cor vermelha é um dos parâmetros mais importantes na avaliação comercial do produto. BERNHARDT et alii (1977a) encontraram para este índice uma faixa de 1,33 - 1,93 para cinco variedades brasileiras de tomate. A utilização de cultivares com elevados teores de licopeno é recomendada para compensar perdas de cor durante o processamento (TAVARES, 1991).

Quanto aos carotenóides totais, pigmentos que se encontram em quantidade considerável no tomate e que contribuem na formação da cor vermelha característica desses produtos, obteve-se valores médios de 76,57 ug/g nas amostras analisadas de suco simples, perfeitamente comparáveis com os valores encontrados por TAVARES, (1991) de 77,2 ug/g para sucos de tomate comerciais brasileiros. Observa-se na Tabela 8 que as perdas de carotenóides totais durante a concentração do suco até purê são mínimas.

Em relação ao teor de vitaminas, grandes variações podem ser observadas entre os resultados obtidos por diversos

pesquisadores para o teor de ácido ascórbico. O suco simples de tomate apresentou teor relativamente baixo de ácido ascórbico, 4,94 mg/100g, embora se encontre na faixa de 4,7 a 24,0 mg/100g obtida por BERNHARDT et alii (1977a). Esse valor baixo pode ser atribuído aos efeitos do processamento, já que se tratava de uma amostra pasteurizada na indústria e as determinações foram realizadas alguns dias após o processamento industrial. Por outro lado, os valores citados por ABDEL-HAMID (1982) da ordem de 16 mg/100g, portanto, 3,2 vezes maiores que os encontrados neste trabalho, além do efeito da variedade, referem-se a sucos enlatados e analisados no laboratório, portanto sem o efeito do processamento industrial.

Quanto ao teor de vitamina A encontrado no suco de tomate, cuja média atingiu o valor de 828 U.I./100g, pode-se considerar um valor elevado quando comparado ao obtido por TAVARES, (1991) de 350 U.I./100g para suco de tomate comercial engarrafado.

A viscosidade aparente do suco simples, suco parcialmente concentrado (2) e purê de tomate, para uma velocidade angular correspondente a 90,7 rpm e 30°C, é mostrada na Tabela 8. Esses valores devem ser considerados apenas como parâmetros de comparação entre os diversos produtos e não como valores absolutos, devido ao comportamento não newtoniano do produto.

Os outros valores analíticos apresentados na Tabela 8 para o suco parcialmente concentrado (2) e purê são perfeitamente coerentes com os valores já comentados do suco, pois são produtos obtidos da mesma matéria-prima.

#### 4.1.3. Caracterização do concentrado recombinação:

A Tabela 9 apresenta os resultados analíticos das características físicas, químicas e físico-químicas do concentrado de tomate obtido por recombinação de 60% de soro liofilizado dissolvido a 65<sup>o</sup>Brix e 40% de polpa a 12,92<sup>o</sup>Brix.

Tabela 9. Caracterização química, física e físico-química do concentrado recombinação.

DETERMINAÇÕES	CONCENTRADO RECOMBINADO
<sup>o</sup> Brix corrigido	24,30
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	1,51
<sup>o</sup> Brix/Acidez	16,09
pH	4,37
Umidade (%)	74,14
Cinzas (%)	2,12
Acúcares totais (%)	14,04
Acúcares redutores (%)	12,13
Acúcares não redutores (%)	1,91
Carotenoides totais (ug/g)	368,35
Vitamina A (UI/100g)	4187
Vitamina C (mg/100g)	23,42
Cor "Hunter" L	22,1
a	23,0
b	11,3
Índice de cor a/b	2,03
Viscosidade (cp)(*)	390,37
Consistência (cm)	8,5

(\*) Viscosidade aparente a 90,7rpm e 30<sup>o</sup>C.

#### 4.1.4. Comportamento reológico:

##### 4.1.4.1. Matéria-prima:

O comportamento reológico da matéria-prima utilizada é mostrado na Figura 8, onde a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) foi graficada contra a taxa de deformação corrigida ( $\dot{\gamma}$ ), ambas em escala logarítmica. Os dados experimentais na determinação da viscosidade aparente da matéria-prima podem ser representados pela equação do modelo de Herschel-Bulkley que inclui um fator de tensão residual:

$$\tau - \tau_0 = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

onde:

$\tau$  = tensão de cisalhamento (N/m<sup>2</sup>)

$\tau_0$  = tensão residual (N/m<sup>2</sup>)

$\dot{\gamma}$  = taxa de deformação (1/s).

$k$  = coeficiente de consistência (N x s<sup>n</sup>/m<sup>2</sup>)

$n$  = índice de comportamento do escoamento (adimensional).

Utilizando a equação do modelo de Herschel-Bulkley, foram determinados os parâmetros reológicos das matérias-primas analisadas, os quais são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros reológicos das matérias-primas a 30°C.

FLUIDO	$k$ (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	$n^{(*)}$	$\tau_0$ (N/m <sup>2</sup> )	$\eta$ (cp)
Suco simples	0,187	0,631	0,845	9,951
Suco parcial/ concentrado (2)	0,384	0,784	0,749	23,401
Purê	1,071	0,747	3,233	64,779

(\*)  $n$  é adimensional.

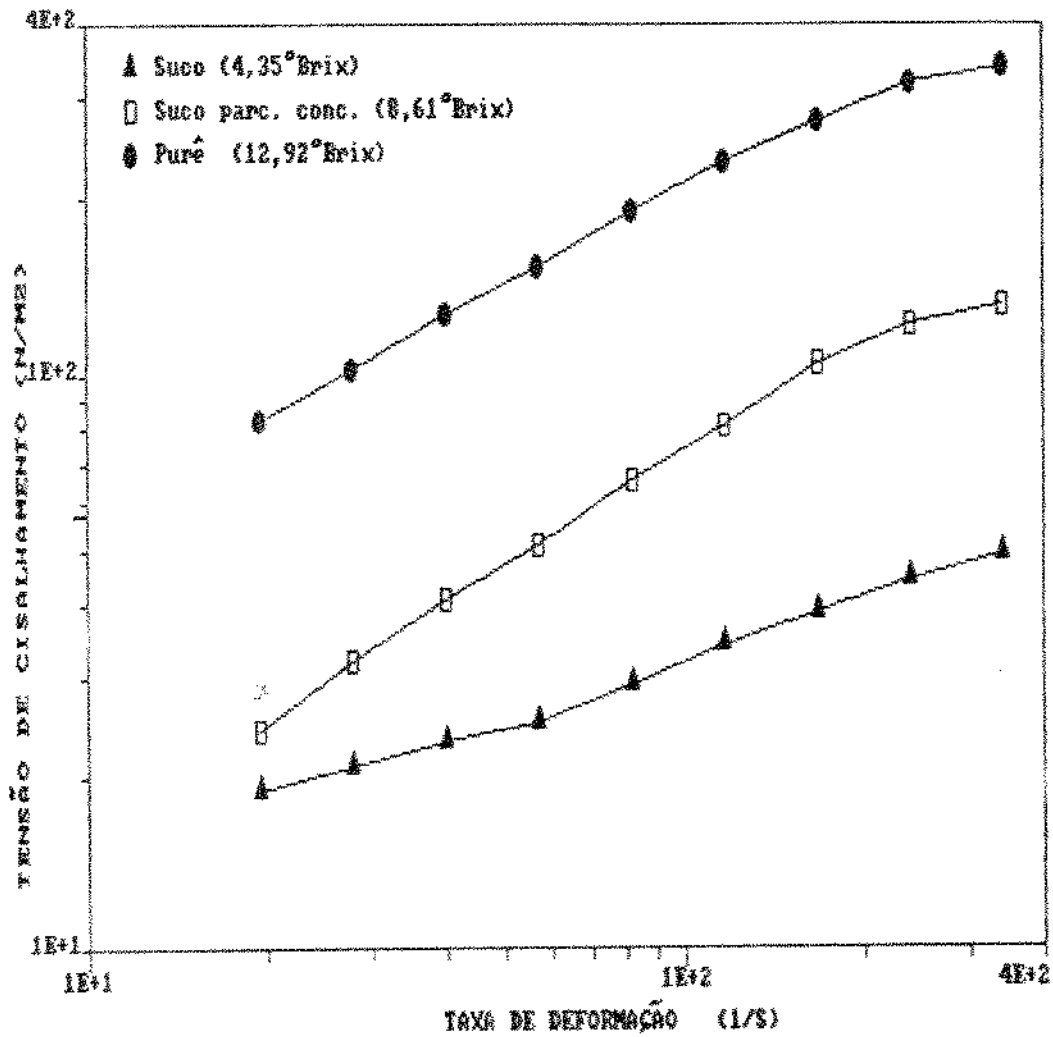


Figura 8. Reograma do suco, suco parcialmente concentrado e purê de tomate a 30°C.

Os resultados obtidos indicaram que houve decréscimo pronunciado da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, indicando comportamento pseudoplástico em todos os casos. Os valores de  $n$  (Tabela 10) confirmam esse fato, pois todos os produtos apresentaram valores menores que a unidade.

A pseudoplasticidade do suco e purê de tomate também foi constatada por HARPER & SAHRIGI (1965); SARAVACOS et alii (1967); MOLWANE & GUNJAL (1985); TANGLERTPAIBUL & RAO (1987), embora tenham pesquisado produtos com outros métodos de processamento, em diferentes concentrações e condições de análise (tipo de viscosímetro e temperaturas).

Observa-se também na Tabela 10, que o parâmetro  $k$ , conhecido como índice de consistência do fluido, aumenta com a concentração de sólidos totais dos produtos, e portanto, quanto maior seu valor, mais "espesso" ou "mais viscoso" é o fluido.

#### 4.1.4.2. Soro e polpa:

Os valores experimentais do soro, se adaptaram ao modelo da lei da potência (Ostwald de Waele).

A Tabela 11 mostra os parâmetros reológicos do soro e polpa (obtidos por centrifugação do purê de tomate) que foram calculados utilizando o modelo da lei da potência e o de Herschel-Bulkley, respectivamente.

Para o soro, (12,7<sup>o</sup>Brix) o valor de  $n$  foi maior que 1, o que caracteriza um fluido dilatante (Tabela 11), no entanto TANGLERTPAIBUL & RAO (1987) determinaram em soros de 5,6 a 20<sup>o</sup>Brix e 25<sup>o</sup>C, valores de  $n$  na faixa de 0,91 a 1,0 e os consideraram como fluidos newtonianos. Talvez os teores residuais de polpa no soro nos experimentos conduzidos por TANGLERTPAIBUL &

RAO (1987) e neste trabalho tenham sido diferentes, o que dificulta a conclusão sobre as diferenças encontradas na caracterização do fluido, como newtoniano ou não newtoniano.

Tabela 11. Parâmetros reológicos do soro e polpa (12,7°Brix) à velocidade angular de 63,4 rpm e 30°C.

FLUIDO	$k$ (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	$n$ (*)	$\tau_0$ (N/m <sup>2</sup> )	$\eta$ (cp)
Soro	5,405x10 <sup>-3</sup>	1,301	----	1,202
Polpa	9,563	0,563	35,234	521,454

(\*)  $n$  é adimensional

Por outro lado, os valores de viscosidade aparente da polpa se adaptaram melhor ao modelo de Herschel-Bulkley, apresentando um alto valor da tensão residual ( $\tau_0$ ), sendo que o índice do comportamento do fluido foi menor que 1, característico de comportamento pseudoplástico (Tabela 11).

#### 4.1.4.3. Soro concentrado:

A Tabela 12 apresenta os parâmetros reológicos para os soros de tomate liofilizados dissolvidos nas concentrações de 55, 60 e 65°Brix, medidas nas temperaturas de 65, 60 e 55°C e à velocidade angular de 90,7 rpm. Os valores encontrados, dos soros dissolvidos se adaptaram ao modelo de Herschel Bulkley. Além disso, o comportamento destes fluidos, independente da concentração de sólidos e das temperaturas utilizadas, foi de caráter pseudoplástico ( $n < 1$ ). Observou-se também que os valores de  $n$  oscilam numa faixa estreita (0,75 - 0,72), sendo este parâmetro menos sensível à variação da concentração e da temperatura que os valores de  $k$  (0,96 - 3,29).

Tabela 12. Parâmetros reológicos dos soros liofilizados dissolvidos à velocidade angular de 90,7 rpm.

°BRIX	TEMPERATURA								
	65°C			60°C			55°C		
	k (1)	n (2)	$\tau_0$ (3)	k (1)	n (2)	$\tau_0$ (3)	k (1)	n (2)	$\tau_0$ (3)
65	2,16	0,72	4,23	2,74	0,73	4,86	3,29	0,72	6,11
60	1,49	0,75	1,83	1,76	0,75	2,32	2,40	0,73	4,54
55	0,96	0,72	1,47	1,08	0,73	1,52	1,21	0,73	1,78

(1) k:  $N \times s^n/m^2$

(2) n é adimensional

(3)  $\tau_0$ :  $N/m^2$

Por outro lado, a variação da concentração de sólidos e da temperatura têm um efeito apreciável sobre a tensão residual (Tabela 12). Em altas concentrações de sólidos (65°Brix), o valor da tensão residual, é maior, sendo que esta aumenta a baixas temperaturas (55°C).

A Tabela 13 mostra os valores da viscosidade aparente ( $\eta$ ) dos soros de tomate liofilizados dissolvidos.

Tabela 13. Viscosidade aparente ( $\eta$ ) dos soros liofilizados dissolvidos à velocidade angular de 90,7 rpm.

°BRIX	TEMPERATURA		
	65°C	60°C	55°C
	$\eta$ (cp)	$\eta$ (cp)	$\eta$ (cp)
65	111,153	142,645	170,775
60	78,833	91,416	126,780
55	47,036	55,072	61,351



A viscosidade aparente ( $\eta$ ) aumenta com a concentração de sólidos solúveis. Entretanto, numa mesma concentração, a viscosidade aparente aumenta com a diminuição da temperatura (Tabela 13).

Segundo os dados obtidos de viscosidade aparente (Figura 9) o soro pode ser concentrado até 65<sup>o</sup>Brix na temperatura de evaporação de 65<sup>o</sup>C em evaporador de placas ou de filme descendente os quais podem trabalhar com viscosidades aparentes de até 300cp (MORETTI, 1973).

No caso desta proposta tecnológica, o soro entra no evaporador como um fluido dilatante, (Tabela 11) e torna-se um fluido pseudoplástico com o aumento da concentração (Tabela 12). Segundo TELIS & GASPARETO (1991) a transfêrencia de calor é maior para fluidos pseudoplásticos que para fluidos dilatantes.

#### 4.1.4.4. Concentrado recombinação:

A Tabela 14 apresenta os parâmetros reológicos do concentrado recombinação (soro liofilizado dissolvido a 65<sup>o</sup>Brix e polpa 12,7<sup>o</sup>Brix) de tomate a 24<sup>o</sup>Brix, a diferentes temperaturas e velocidade angular de 90,7 rpm.

O concentrado recombinação comporta-se como um fluido pseudoplástico, apresentando altos valores de tensão residual e ajustando-se ao modelo de Herschel-Bulkley (Tabela 14).

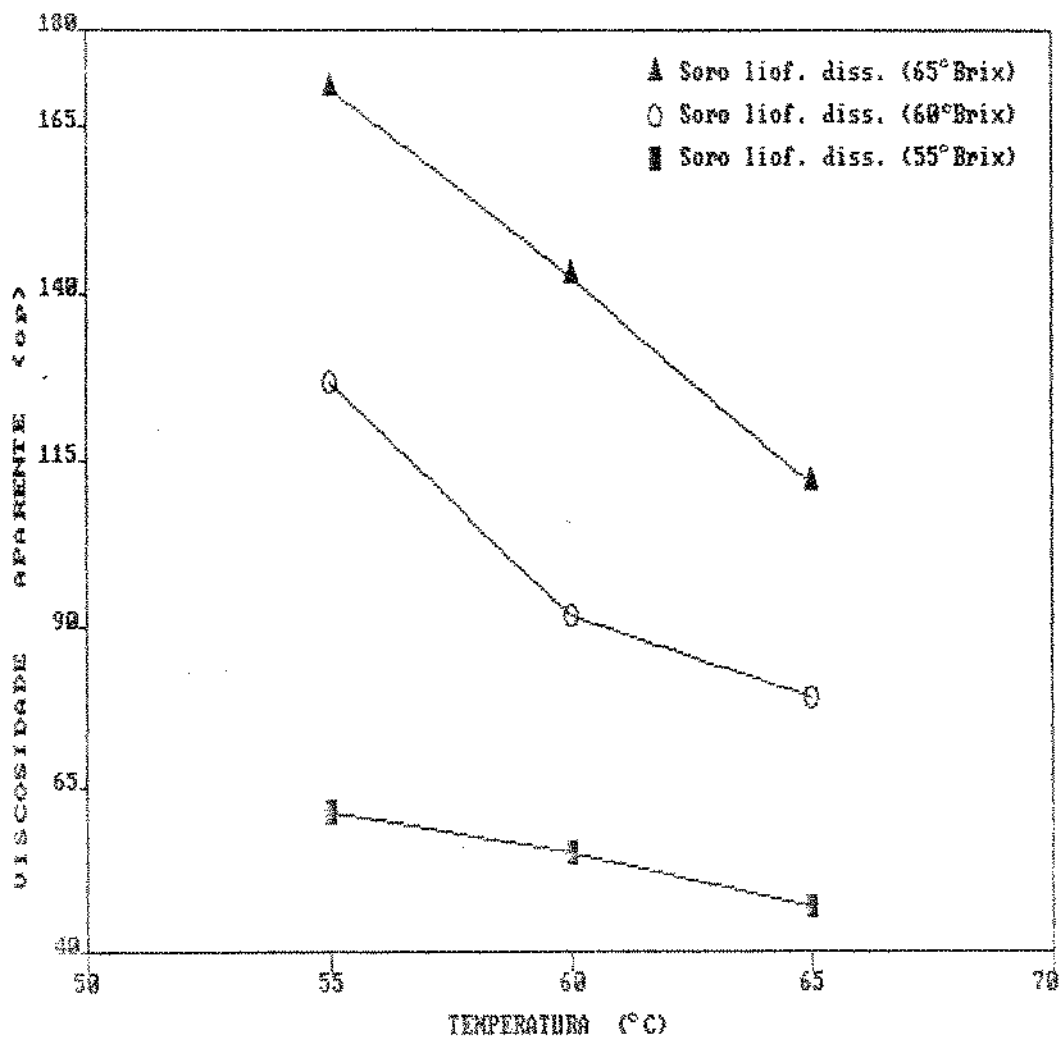


Figura 9. Variação da viscosidade aparente com a temperatura à velocidade angular de 90,7 rpm para os soros liofilizados dissolvidos.

Tabela 14. Parâmetros reológicos do concentrado recombinao (24°Brix) e velocidade angular de 90,7 rpm.

TEMPERATURA(°C)	K (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n(*)	τ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> )	η (cp)
30	5,625	0,571	52,409	390,370
55	3,048	0,824	26,004	257,653
60	3,151	0,659	24,766	226,980
65	1,761	0,638	33,801	222,341

(\*) n é adimensional

## 4.2. SIMULAÇÃO EM PLANTA PILOTO:

### 4.2.1. Caracterização da matéria-prima:

A Tabela 15 apresenta os resultados analíticos de algumas características físicas e químicas do suco parcialmente concentrado (1), que se destinou à elaboração do concentrado recombinao em planta piloto.

Comparando-se as matérias-primas de diferentes safras utilizadas na obtenção de concentrado recombinao para o processo simulado em laboratório (Tabela 8) e aquele simulado em planta piloto (Tabela 15), nota-se que o suco parcialmente concentrado (1) é menos ácido.

Com relação à cor, o suco parcialmente concentrado (1) apresentou cor vermelha mais intenso (Tabela 15) que os produtos utilizados em laboratório (Tabela 8), apresentando índice a/b de 2,18, o que denota maior teor de licopeno. TAVARES (1991) detectou um alto grau de variação nos teores de licopeno nos purês e concentrados de tomate. Segundo LIU & LUH apud

TAVARES (1991), a concentração de licopeno é dependente do estágio de maturação do tomate. Sendo assim, as variações no teor de licopeno podem ser devidas ao uso de matérias-primas em diferentes estágios de maturação. Além disso, as matérias-primas pertenciam a diferentes lotes de produção com possíveis diferenças nos tratamentos térmicos.

Tabela 15. Caracterização do suco parcialmente concentrado (1).

DETERMINAÇÕES	SUCO PARCIALMENTE CONCENTRADO (1)
°Brix corrigido	9,6
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	0,401
°Brix/Acidez	23,94
pH	4,42
Viscosidade (cp)(*)	23,11
Beta-caroteno (ug/g)	0,13
Vitamina A (UI/100g)	50
Vitamina C (mg/100g)	5,19
Cor "Hunter":	
L	22,51
a	25,20
b	11,56
Índice de cor a/b	2,18
Cor "Munsell":	
Laranja (%)	14,0
Preto (%)	7,0
Cinza (%)	6,5
Vermelho (%)	72,5

(\*) Viscosidade a 90,7 rpm, e 30°C.

Quanto às vitaminas, o suco parcialmente concentrado (1) (Tabela 15) apresentou teores menores de ácido ascórbico e vitamina A em relação às matérias-primas utilizadas em laboratório (Tabela 8). Isto pode ser resultado de uma longa estocagem (entressafra) e/ou maior aeração do produto durante o processamento.

#### 4.2.2. Caracterização do concentrado industrial convencional e do concentrado recombinação:

A Tabela 16 apresenta os resultados analíticos de algumas características físicas e químicas do concentrado industrial (método convencional) e do concentrado recombinação (método de centrifugação) elaborado em planta piloto a 24°Brix.

Observa-se, na Tabela 16, que os concentrados industrial convencional e recombinação apresentaram valores diferentes de pH, acidez total e conseqüentemente a relação °Brix/Acidez. Os valores desses parâmetros estão relacionados com o grau de maturação e com as características das matérias-primas e portanto, devido à natureza de cada produto, essas diferenças não são significativas. Com relação aos outros parâmetros avaliados (viscosidade, consistência, cor e vitaminas), embora também estejam relacionadas com a matéria-prima, são os que apresentam as maiores alterações devidas ao processamento.

O concentrado industrial convencional apresentou valor de acidez total maior do que o concentrado recombinação. Porém, ambos os produtos apresentaram valores inferiores aos relatados por SILVA et alii (1975) determinados em concentrados de tomate de produção nacional.

Com relação ao pH, que é um importante parâmetro na conservação do produto, os concentrados industrial convencional e

recombinado apresentam valores de 4,39 e de 4,44, respectivamente, encontrando-se na faixa mais recomendada pela NATIONAL CANNERS ASSOCIATION (1968), de 4,12 a 4,44 para este tipo de produto.

Tabela 16. Caracterização do concentrado industrial e do concentrado recombinado.

DETERMINAÇÕES	CONCENTRADO	
	INDUSTRIAL	RECOMBINADO
°Brix corrigido	24,2	24,3
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	1,034	0,914
°Brix/Acidez	23,40	26,59
pH	4,39	4,44
Teor de polpa (%)	52,08	49,92
Consistência (cm)	10,5	6,0
Viscosidade (cp)(*)	201,31	324,16
Tamanho partícula (mm <sup>2</sup> )	0,0936	0,0808
Beta caroteno (ug/g)	6,05	0,96
Vitamina A (UI/100g)	1008	161
Vitamina C (mg/100g)	20,00	11,48
Cor		
L	23,74	23,71
a	25,93	24,96
b	12,87	12,80
Índice de cor a/b	2,01	1,95
Laranja (%)	14,0	14,5
Preto (%)	7,0	7,5
Cinza (%)	6,5	6,0
Vermelho (%)	72,5	72,0

(\*) Viscosidade a 90,7 rpm e 40°C.

Quanto à consistência e à viscosidade, estas foram maiores para o concentrado recombinado, apesar de apresentar teor de polpa menor sendo o tamanho da partícula ligeiramente inferior a do concentrado industrial convencional. Portanto, este fato se relaciona com um maior teor de substâncias pécnicas o que indica menor degradação de pectina durante o processamento. Para McCOLLOCH et alii (1950) e LEONI et alii (1981) a consistência é afetada pelo teor e intensidade da degradação da pectina, pelo tamanho, forma e quantidade de partículas da polpa e em menor intensidade por proteínas, açúcares e outros componentes insolúveis.

No experimento de concentração de soro (simulação em planta piloto) para posterior recombinação do soro concentrado e polpa para a obtenção do concentrado, conseguiu-se atingir 67,8°Brix no soro com 10,30% de polpa, inferior aos 40% pretendidos anteriormente (simulação em laboratório) o que possibilitou a obtenção de um concentrado recombinado de 31,7°Brix.

Quanto às vitaminas, os concentrados apresentaram teores relativamente baixos de ácido ascórbico e vitamina A (Tabela 16), quando comparados com os valores de vitamina C determinados em concentrados comerciais nacionais (na faixa de 25 a 49 mg/100g), conforme SILVA et alii (1975), e com o valor médio de vitamina A (1305 UI/100g) encontrado por TAVARES (1991). Por outro lado, SILVA et alii (1975), ao comparar os teores de vitamina C dos concentrados com o valor de 20 mg de vitamina C por 100g de produto no tomate "in natura" (com aproximadamente 5°Brix), verificaram que os produtos diferentes comerciais, em geral, sofrem processamento inadequado.

Comparando-se os valores obtidos no colorímetro "Hunter" dos concentrados avaliados com o padrão norte-americano de cor de concentrado de tomate, observou-se luminosidade menor

(portanto, maior teor de preto) e menores intensidades de vermelho (a) e amarelo (b). Em relação ao índice de cor ( $40 \times a/b$ ), os concentrados em estudo, mostraram valores similares (80,4 para o industrial convencional e 78 para o recombinação). Segundo SILVA et alii (1975), a cor de um concentrado de tomate é considerada aceitável quando estiver contida no intervalo de 75 a 120, sendo que quanto mais próxima se encontrar do extremo superior, mais intensa e atrativa será a coloração vermelha.

Observou-se que o concentrado recombinação (Tabela 16) em relação ao suco parcialmente concentrado (1) (matéria-prima) (Tabela 15), apresentou ligeira perda do vermelho e da intensidade (a), conforme registrados pelos colorímetros "Munsell" e "Hunter", respectivamente. Em consequência disso, houve ganho nas cores laranja e cinza ("Munsell"), bem como na luminosidade (L) e na intensidade de amarelo (b) ("Hunter"). Segundo NOBLE (1975) a diminuição do conteúdo total de licopeno, causada pela degradação oxidativa dos carotenóides durante a concentração, está correlacionada com a diminuição do vermelho (medido em valores "Hunter").

#### 4.2.3. Comportamento reológico:

##### 4.2.3.1. Matéria-prima:

Pela natureza do comportamento reológico os dados experimentais na determinação da viscosidade aparente do suco parcialmente concentrado podem ser representados pela equação do modelo de Herschel Bulkley. Utilizando este modelo, foram determinados os parâmetros reológicos, os quais são apresentados na Tabela 17.



Tabela 17. Parâmetros reológicos do suco parcialmente concentrado (1) com 9,6°Brix, à velocidade angular de 90,7 rpm e 30°C.

FLUIDO	$k$ (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	$n^{(*)}$	$\tau_0$ (N/m <sup>2</sup> )	$\eta$ (cp)
Suco parcial/ concentrado (1)	0,475	0,615	1,845	23,114

(\*) n é adimensional.

Da mesma forma que para as matérias-primas utilizadas na simulação em laboratório (Tabela 10) o suco parcialmente concentrado (1) com 9,6°Brix apresentou comportamento pseudoplástico (Tabela 17).

#### 4.2.3.2. Soro e polpa:

Os valores experimentais do soro, se adaptaram ao modelo da lei da potência (Ostwald de Waele), e seus parâmetros reológicos são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Parâmetros reológicos do soro (9,6°Brix) a 30 e 60°C e à velocidade angular de 545 rpm.

TEMPERATURA (°C)	$k$ (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	$n^{(*)}$	$\eta$ (cp)
30	$6,072 \times 10^{-4}$	1,637	1,284
60	$3,481 \times 10^{-4}$	1,683	0,906

(\*) n é adimensional

Da mesma forma que para o soro de 12,7 °Brix, este soro (9,6°Brix) apresentou comportamento dilatante.

Comparando-se o comportamento dos soros, a 9,6 e 12,7<sup>o</sup>Brix a 30<sup>o</sup>C (Tabelas 11 e 18), nota-se que a dilatância do fluido é maior a menores concentrações, porém o teor de pólpa foi superior no soro de 12,7<sup>o</sup>Brix devido às condições de centrifugação.

Quanto à polpa, não se fizeram medidas devido à falta do copo adequado do reômetro.

#### 4.2.3.3. Soro concentrado:

A Tabela 19 apresenta os parâmetros reológicos para o soro de tomate concentrado (67,8<sup>o</sup>Brix), nas temperaturas de 55, 60 e 65<sup>o</sup>C e velocidade angular de 90,7 rpm.

Tabela 19. Parâmetros reológicos do soro concentrado de tomate (67,8<sup>o</sup>Brix) à velocidade angular de 90,7 rpm.

TEMPERATURA(°C)	k (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n <sup>(*)</sup>	η (CP)
55	0,225	0,932	18,442
60	0,185	0,925	14,540
65	0,169	0,923	13,442

(\*) n é adimensional

O modelo da lei da potência (Ostwald de Waele), se aplica para descrever o comportamento reológico destes produtos, portanto a tensão residual (menor que 0,5 N/m<sup>2</sup>) é insignificante sendo que também este valor inclui a fricção inerente nas medidas do viscosímetro (VITALI & RAD, 1984).

O comportamento destes fluidos, independente da temperatura, foi de caráter pseudoplástico (Tabela 19). Para

VITALI & RAO (1984) o comportamento pseudoplástico do soro concentrado de suco de laranja, relaciona-se com solutos de alto peso molecular como a pectina.

Segundo os dados da viscosidade aparente (Tabela 19), o soro de tomate pode ser concentrado a valores superiores a 67,8°Brix. Deve-se considerar que fluidos com baixos teores de polpa facilitariam a operação de concentração.

A Tabela 20 apresenta os parâmetros reológicos para os soros concentrados diluídos com água destilada nas concentrações de 53,5, 59,8 e 65°Brix, na temperatura de 60°C e à velocidade angular de 90,7 rpm, os quais se adaptaram ao modelo da lei da potência. Observa-se que os soros independentemente da concentração de sólidos, comportam-se como pseudoplásticos, notando-se uma menor pseudoplasticidade para menores concentrações. Segundo VITALLI & RAO (1984) este fenômeno observado no suco de laranja, é devido à diluição, causando diminuição da interação entre as partículas e redução na concentração da pectina dissolvida.

Comparando-se os valores dos parâmetros do comportamento reológico para os soros concentrados diluídos (Tabela 20) com aqueles dos soros liofilizados dissolvidos a 60°C (Tabela 12), nota-se que os valores das determinações se adaptaram a modelos diferentes (Lei da potência e Herschel-Bulkley, respectivamente). Por outro lado, além da diferença na concentração do soro as condições de centrifugação foram diferentes, (2200 x g para os soros liofilizados dissolvidos e 3500 x g para os soros concentrados diluídos) portanto o teor de polpa foi maior nos soros liofilizados dissolvidos. Segundo MIZHARI & BERK apud VITALI & RAO (1984) amostras com alto teor de polpa causam aumento da tensão residual. Apesar disso, os soros apresentaram caráter pseudoplástico, sendo que os liofilizados dissolvidos apresentaram maior pseudoplasticidade e maior

viscosidade aparente.

Tabela 20. Parâmetros reológicos do soros concentrados diluídos, à velocidade angular de 90,7 rpm e 60°C.

°BRIX	k (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n(*)	η (cp)
53,5	0,487	0,981	2,024
59,8	0,509	0,975	4,726
65	0,100	0,958	8,848

(\*) n é adimensional

Em relação ao índice de consistência (k), os soros concentrados (Tabela 20) apresentaram valores menores que os soros liofilizados dissolvidos (Tabela 12). Esta diminuição no índice de consistência esta relacionada com a redução do conteúdo de polpa no fluido (TELIS et alii, 1991).

#### 4.2.3.4. Concentrado recombinação:

A Tabela 21 apresenta os parâmetros reológicos do concentrado recombinação de tomate (24°Brix) a diferentes temperaturas e à velocidade angular de 90,7 rpm.

Os valores encontrados nas medidas reológicas do concentrado recombinação adaptaram-se ao modelo de Herschel-Bulkley, com o comportamento característico de fluidos pseudoplásticos (Tabela 21).

Tabela 21. Parâmetros reológicos do concentrado re combinado (24<sup>o</sup>Brix) à velocidade angular de 90,7 rpm.

TEMPERATURA(°C)	k(N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n(*)	Σ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> )	η(cp)
40	5,624	0,696	21,718	324,160
55	5,247	0,639	17,357	313,414
60	6,769	0,653	13,302	295,062
65	7,178	0,644	15,577	253,803

(\*) n é adimensional

#### 4.2.3.5. PROCESSO INDUSTRIAL CONVENCIONAL;

##### 4.2.3.5.1. Soro:

Os valores obtidos para o soro, adaptaram-se ao modelo da lei da potência (Ostwald de Waele), e seus parâmetros reológicos são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Parâmetros reológicos do soro industrial convencional (9,6<sup>o</sup>Brix) à velocidade angular de 545,5 rpm e 30°C.

TEMPERATURA (°C)	k (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n(*)	η (cp)
30	1,17x10 <sup>-3</sup>	1,533	1,509

(\*) n é adimensional

Este soro obtido a partir da centrifugação do concentrado industrial convencional (9,6<sup>o</sup>Brix) apresentou comportamento de fluido dilatante (Tabela 22).

Nota-se o valor maior da viscosidade aparente do soro (9,6<sup>o</sup>Brix) obtido por centrifugação a partir do concentrado industrial convencional (Tabela 22) quando comparado com o valor obtido para o soro do concentrado recombinado (Tabela 18).

#### 4.2.3.5.2. Concentrado industrial convencional:

Os parâmetros reológicos do concentrado industrial convencional a 24<sup>o</sup>Brix e a diferentes temperaturas e velocidade angular de 90,7 rpm são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Parâmetros reológicos do concentrado industrial convencional (24<sup>o</sup>Brix) à velocidade angular de 90,7 rpm.

TEMPERATURA(°C)	k (N x s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> )	n(*)	Σ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> )	η (cP)
40	2,238	0,657	26,391	201,312
55	2,216	0,658	22,651	183,304
60	2,219	0,650	21,649	153,577
65	2,264	0,655	21,821	140,608

(\*) n é adimensional

Os valores experimentais do concentrado industrial convencional, adaptaram-se ao modelo de Herschel-Bulkley apresentando comportamento de fluido pseudoplástico.

Comparando-se os valores dos parâmetros reológicos do concentrado recombinado obtido no laboratório (Tabela 14) com o concentrado recombinado obtido na planta piloto (Tabela 21) e com o concentrado industrial convencional (Tabela 23), embora todas as amostras tenham apresentado comportamento pseudoplástico, os valores da viscosidade aparente foram superiores no concentrado

recombinado (simulação em planta piloto). Para LUH apud MARSH et alii (1980) a consistência está relacionada com o conteúdo de substâncias pecticas e sólidos totais.

Observa-se, na Tabela 23 valores de tensão residual superiores no concentrado industrial convencional quando comparados com os valores obtidos para o concentrado recombinado (Tabela 21), fenômeno que pode ser relacionado com maior teor de polpa do concentrado industrial convencional (Tabela 16).

#### 4.2.4. Perdas de vitaminas nos concentrados obtidos nos processos industrial convencional e de recombinação:

As Tabelas 24 e 25 apresentam as porcentagens de perdas da vitamina A e da vitamina C, nos processos de recombinação e industrial convencional, respectivamente dos concentrados de tomate obtidos de diferentes matérias-primas.

Tabela 24. Porcentagem de perdas de vitaminas A e C do concentrado re combinado.

VITAMINAS	SUCO PARCIAL/(1) CONC (9,6ºBrix)	CONC. RECOMBINADO (24,3ºBrix)		PERDA (%)
A (UI/100g)	50	161	126,56 <sup>(2)</sup>	Insignificante
C (mg/100g)	5,19	11,48	13,14 <sup>(2)</sup>	12,61

(1) Matéria-prima do concentrado re combinado.

(2) Valores teóricos.

Comparando-se as perdas de vitaminas A e C nos dois concentrados em estudo (Tabelas 24 e 25), mais o fato da consistência do concentrado re combinado ser maior com menor teor de polpa (Tabela 16), pode-se chegar a uma indicação de que o processo de separação centrífuga e posterior concentração do soro e recombinação, possibilita menor alteração do produto final, conseqüentemente este deveria ter melhor cor, aroma e sabor.

Para SILVA et alii (1975) além do valor nutritivo, a vitamina C é um importante indicador na avaliação do processamento a que foi submetido o produto, pois uma grande parte desta é perdida pelo aquecimento e manuseio da matéria-prima. Segundo SHERKART & LUH (1976) as perdas de vitamina C podem ser explicadas por oxidação e degradação térmica do ácido



ascórbico a altas temperaturas de processamento.

Tabela 25. Porcentagem de perdas de vitaminas A e C do concentrado industrial convencional.

VITAMINAS	SUCO SIMPLES <sup>(1)</sup> (4,76°Brix)	CONC. INDUSTRIAL (24,2°Brix)		PERDA (%)
A (UI/100g)	775	1008	3940 <sup>(2)</sup>	74,42
C (mg/100g)	5,45	20,00	27,41 <sup>(2)</sup>	27,82

(1) Matéria-prima do concentrado industrial.

(2) Valores teóricos.

Os resultados demonstraram que o concentrado recombinação em relação ao concentrado industrial convencional apresentou menores perdas de vitaminas, sendo da ordem de 12,57% para a vitamina C e insignificantes para a vitamina A. Para LUND (1973) as vitaminas lipossolúveis geralmente são menos termolábeis que as hidrossolúveis. Segundo DIETZ & GOULD (1986) o processamento do suco de tomate afeta significativamente os níveis de beta-caroteno, mas sem reduzir seu valor como fonte de vitamina A.

As menores perdas de vitaminas no concentrado recombinação, são consequência do método de processamento. Na separação por centrifugação, a polpa que retém 80% do beta-caroteno (principal pigmento carótenoide pró-vitâmico) (SULC, 1976) não foi submetido a aquecimento, e por outro lado, o soro foi concentrado a temperatura relativamente baixa (60°C) com curto tempo de residência.

### 4.3. Análise Sensorial:

Para o estudo das características sensoriais dos concentrados de tomate obtidos dos diferentes processamentos, avaliaram-se os atributos de cor, aroma, consistência e sabor, que são os parâmetros de qualidade sensorial dos produtos.

#### 4.3.1. Seleção dos provadores:

Existem muitos caminhos que podem ser seguidos para a seleção de uma equipe de provadores, mas a maioria deles recai numa seleção em que se avalia o provador em relação ao seu poder de discriminação, repetibilidade e concordância com o restante da equipe (DAMÁSIO, 1990).

Os resultados das análises de variância (ANOVA) de dois fatores (repetições e amostras) de cada atributo para cada um dos provadores, ou seja, os valores de F, obtidos para cada um dos fatores estudados, apresentam-se na Tabela 26.

Estes resultados revelaram uma alta reprodutibilidade dos provadores, pois apenas um deles (provador 9) apresentou valor de F<sub>repetições</sub> significativo ao nível de 5% em apenas um dos atributos (Tabela 26). Considerando-se este primeiro critério de seleção, admitiu-se o descarte desse provador.

Com relação ao poder de discriminação, foi observada maior variação de eficiência entre os provadores. Para sua avaliação, foram comparados os valores de F<sub>amostras</sub> de cada provador com o valor de F<sub>amostras</sub> tabelado para nível de significância de 10%. Desta forma, foram descartados dois provadores (10 e 12) por apresentarem valores de F<sub>amostras</sub> muito baixos (Tabela 26).

Tabela 26. Valores de F amostras (Fa) e F repetições (Fr) da análise de variância de dois fatores para cada provador, por atributo sensorial.

ATRIBUTOS	PROVADORES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
COR	Fa	45,45	10,60	83,73	7,57	5,83	3,82	11,99	41,37	32,44	0,67*	4,70	2,94*
	Fr	2,07	0,78	2,66	1,47	2,41	0,04	0,49	2,36	5,33	0,28	0,02	1,05
AROMA	Fa	154,75	22,33	6,27	12,77	6,86	5,65	110,31	149,19	36,36	15,62	15,62	17,43
	Fr	3,02	1,57	0,44	0,98	1,55	0,12	1,90	4,13	2,85	1,20	1,20	3,89
CONSISTÊNCIA	Fa	50,85	9,75	5,53	20,06	26,83	5,54	59,31	16,43	14,91	11,06	6,88	10,85
	Fr	2,71	0,49	0,27	0,63	2,88	0,15	0,65	0,40	1,37	1,28	0,74	1,15
SABOR	Fa	135,10	10,41	12,48	26,36	9,04	4,52*	112,41	57,52	6,84	45,75	5,82	10,78
	Fr	1,54	0,56	3,22	1,26	0,77	0,11	3,58	0,81	1,00	0,44	0,07	2,38

(\*) Valor de F significativo ao nível de 5% comparado  $F_3 = 4,76$  para repetições e com o valor de F significativo ao nível de 10% comparado com  $F_2 = 3,46$  para amostras.

Desta forma, tendo já nove provadores aceitos, com base em sua reprodutibilidade e em seu poder de discriminação, procedeu-se, então, à seleção, seguindo o critério de concordância que cada provador apresentava com a equipe.

De acordo com o comportamento das médias encontradas, que aparecem na Tabela 27, apenas o provador 4 foi considerado rejeitado, pois diferiu em três dos atributos avaliados.

Em vista desses resultados, a equipe sensorial ficou constituída de oito provadores.

#### 4.3.2. Análise sensorial dos concentrados:

As amostras de purê de tomate reconstituídas a partir dos concentrados, obtidos pelos métodos industrial convencional e de recombinação, foram avaliadas por sete dos oito provadores que haviam sido selecionados, já que um deles não pode participar destas provas.

Foi aplicada uma análise de variância de três fatores (amostras, provadores e repetições) Tabela 28.

De acordo com os valores obtidos de  $F_{amostras}$  (Tabela 28) foram detectadas diferenças significativas entre as duas amostras em todos os atributos avaliados.

Quanto aos provadores (Tabela 28), também foram detectadas diferenças significativas em todos os atributos avaliados. Estas diferenças, possivelmente, estão relacionadas com o fato dos provadores terem usado diferentes partes da escala, e, como resultado, há diferença significativa entre as médias para cada provador. Segundo NOBLE apud GARRUTI (1989), tal

Tabela 27. Médias individuais de cada provador para cada atributo sensorial e amostra de suco de tomate.

ATRIBUTOS	AMOSTRAS	PROVADORES									Valor médio
		1	2	3	4	5	6	7	8	11	
COR	1	9,00	9,00	9,00	7,68	8,80	8,48	8,50	5,95	7,28	8,25
	2	5,93	7,40	4,20	4,93	8,28	3,63	5,40	4,65	4,20	5,46
	3	7,45	7,48	7,15	6,33	8,28	3,90	5,83	3,18	4,15	5,93
AROMA	1	9,00	9,00	9,00	7,78	9,00	8,43	8,65	6,05	7,23	8,29
	2	6,60	7,28*	4,85*	4,78*	5,55	5,30	6,58	4,45	5,73	5,79
	3	4,20	7,35*	5,20*	5,68*	5,43	1,65	5,15	2,85	2,90	4,34
CONSISTÊNCIA	1	9,00	9,00	8,98	7,78	9,00	8,43	9,00	6,08	6,93	8,30
	2	6,50	6,68	5,58*	4,75*	4,70*	5,95	4,83*	4,65	4,35*	5,47
	3	4,75	5,85	6,05*	5,33*	5,45*	2,20	5,18*	3,03	4,45*	4,59
SABOR	1	9,00	9,00	9,00	7,78	9,00	8,25	8,70	5,98	7,90	8,23
	2	6,40	6,33	6,50	4,25*	4,53	4,15	6,33	4,65	4,97*	5,42
	3	4,08	4,88	5,00	4,65*	4,45	1,75	5,18	3,25	5,27*	4,13

(\*) Médias cuja ordem não coincide com a equipe.

diferença entre os provadores é considerada normal nesse tipo de teste.

Tabela 28. Resultados da análise de variância de três fatores para cada atributo sensorial dos purês de tomate.

ATRIBUTOS	F <sub>amostras</sub>	F <sub>provadores</sub>	F <sub>repetições</sub>
COR	11,57*	20,27*	0,33
AROMA	30,44*	7,38*	1,49
CONSISTÊNCIA	65,62*	4,76*	0,67
SABOR	25,18*	9,25*	1,46

(\*) Valor de F significativo ao nível de 5% comparado com  $F_1=4,04$  para amostra;  $F_7=2,34$  para provador;  $F_{55}=2,84$  para repetições.

Em relação aos valores obtidos de  $F_{repetições}$ , não foram detectadas diferenças significativas, o que revela alta repetibilidade da equipe (Tabela 28).

A Tabela 29 apresenta os valores médios de 28 observações (7 provadores x 4 repetições) para cada amostra de purê reconstituído a partir do concentrado industrial convencional e do concentrado recombinado em cada atributo avaliado.

Como pode ser observado, a amostra de purê reconstituída a partir do concentrado industrial convencional apresentou as médias maiores nos atributos de cor, aroma e sabor (Tabela 29).

Com relação à cor, foram verificadas diferenças significativas entre as amostras, sendo o purê reconstituído a partir do concentrado recombinado o que apresentou menor valor

médio.

Tabela 29. Valores médios de 28 observações de cada atributo sensorial para os purês de tomate.

DETERMINAÇÕES	PURÊS	
	INDUSTRIAL	RECOMBINADO
COR	7,2	5,6
AROMA	7,6	5,3
CONSISTÊNCIA	2,7	6,8
SABOR	7,8	4,2

Apesar das possíveis perdas de carotenóides na concentração do soro, prejudicando a cor do produto final, estas perdas devem ser mínimas, já que a polpa, que retém 91% do licopeno (SULC, 1976), não sofreu o efeito do tratamento térmico durante o processo de concentração. Além disso, aparentemente, o produto recombinação apresentou cor mais próxima de tomate recém-triturado do que um produto industrializado. No entanto, contrariando as expectativas, na avaliação da cor, a equipe outorgou a menor qualificação ao purê recombinação. Isto pode ser devido ao fato da equipe ter sido treinada somente com amostras de purê industrializado, não tendo sido incluídas nas provas amostras de tomate recém-triturado.

Um outro fator a ser considerado, neste aspecto, é que os produtos analisados eram provenientes de diferentes matérias-primas e que o teor de licopeno poderia ser maior na amostra usada para obtenção do concentrado industrial convencional.

Quanto ao aroma e sabor, o purê reconstituído a partir do concentrado recombinação apresentou o menor valor médio

(Tabela 29).

Segundo as análises físicas e químicas realizadas nos concentrados industrial convencional e recombinação (Tabela 16), a amostra de concentrado recombinação mostrou-se menos ácida, o que foi reconhecido sensorialmente.

Para SIMANDLE apud GALVIS (1987), o gosto do tomate é conferido principalmente pelos açúcares e ácidos orgânicos e pelo balanço entre seus teores, enquanto o sabor depende da relação sólidos solúveis/acidez. Desta forma, as diferenças da acidez dos concentrados afetaram os resultados da análise sensorial dos purês avaliados.

No que se refere à consistência, foram detectadas diferenças significativas entre as duas amostras, para o purê industrial convencional foi constatada baixa consistência, enquanto o purê recombinação apresentou alta consistência. Esta diferença dos purês reconstituídos também foi detectada com a análise física através do consistômetro Bostwick, o qual indicou maior escoamento (10,5cm) para o concentrado industrial convencional em relação ao concentrado recombinação (6,0cm).

Ao interpretar os resultados da análise sensorial, deve-se levar em consideração que a amostra avaliada de purê reconstituído a partir do concentrado recombinação apresentou características mais próximas de tomate recém-triturado, distanciando-se muito dos valores das amostras de purê de tomate comerciais que foram usadas para o treinamento da equipe. Some-se a isso o fato de as amostras foram obtidas a partir de diferentes matérias-primas, o que contribuiu para esses resultados. Assim, todos esses fatores justificariam outras avaliações sensoriais, não se tomando, estes resultados como conclusivos.



## 5. CONCLUSÕES:

Dos resultados experimentais obtidos nesse trabalho podemos concluir que:

A baixa viscosidade do soro permitiria na concentração o emprego de evaporadores de filme descendente, calândria ou de placas, que são mais econômicos que os de superfície raspada, além de possibilitar o uso de três ou quatro efeitos.

Para obter concentrados recombinaados de tomate, de alto teor de sólidos solúveis utilizando o processo de separação centrífuga do soro e polpa, é necessário partir de uma matéria-prima com concentração acima de 12°Brix. Neste trabalho, o purê de tomate com 12,9°Brix permitiu as concentrações expressadas.

O concentrado recombinaado obtido pelo método de separação centrífuga do soro e polpa e posterior recombinação apresentou maior retenção de vitamina A e vitamina C, durante o processamento do que o concentrado industrial convencional.

Em relação ao método industrial convencional, o método de recombinação permitiu a obtenção de um concentrado recombinaado com maior consistência e viscosidade, com menor teor de polpa.

Quando foi usada uma centrífuga piloto no processo de centrifugação, obteve-se um soro mais límpido (menor teor de polpa) facilitando a concentração e atingindo altas concentrações.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. ABDEL-RAHMAN, Y. ABDEL-HAMID. Nutritional value of some canned tomato juice and concentrates. Food Chemistry 9 (4): 303-306, 1982.
2. ADAMS, W. H.; NELSON, A. I.; LEGAULT, R. R. Film deposition of tomato juice on heat exchanger coils. Food Technology 9: 354-357, 1955.
3. ADAMS, J. B. & BLUNSTONE, H. A. Canned fruits other than citrus. In: HULME, A. C. -The biochemistry of fruits and their products. London, Academic Press, 1971. v.2. p. 507-541.
4. A.O.A.C. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14.ed. Arlington, 1984.
5. BARRET, R. L. C. Conservação pós-colheita de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) da cultivar Gigante kada submetido a choque a frio e armazenado com filme de PVC. Lavras, 1990. 114p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
6. BAUERNFEIND, J. C. Carotenoid, Vitamina A precursors and analogs precursors. Food Chemistry 20: 456-473, 1972.
7. BELITZ, H. -D. & GROSCH, W. - Vitamins. In: Food chemistry. Trade. HADZIYEV, D. London, Springer Verlag, 1987. p.305-325. Original Alemão.

8. BERNHARDT, L. W.; YANG, J. F.; MORAES, R. M.; FERREIRA, V. L.; DRAETA, S. I. Caracterização física e química de suco de novas variedades de tomate. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 50: 205-223, 1977a.
9. BERNHARDT, L. W.; PASCHOALINO, J. E.; SILVA, S. D. Obtenção de suco tomate estabilizado a partir de novas variedades. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 50: 171-185, 1977.
10. BUTTERY, G. R.; TERANISHI, R.; FLATH, R. A.; LOUISA, C. L. Identification of additional tomato paste volatiles. Journal of Agricultural Food Chemistry 38 (3): 792-795, 1990.
11. COLE, E. R. & KAPUR, N. S. The stability of lycopene. II. Oxidation during heating of tomato pulps. Journal of Science Food Agricultural 8 (6): 366-368, 1957.
12. CONTRERAS, G. E.; STRONG, III.; GUERNLLI, D. Determinação de ácido ascórbico (Vit C) por redução de ions cúpricos. Química Nova 2: 60-64, 1984.
13. DAMÁSIO, M. H. Medida das propriedades mecânicas e da textura de géis mistos de k-carragenato-goma garrofim-gomo guar. Influência da composição e relação entre os dados instrumentais e sensorais. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1990. 184p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.
14. DAMÁSIO, M. H. & COSTELL, E. Análisis sensorial descriptivo: generación de descriptores y selección de catadores. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 31 (2): 165-178, 1991.

15. DANZIGER, M. T.; STEINBERG, M. P.; NELSON, A. I. Thermal browning of tomato solids as affected by concentration and inhibitors. Journal of Food Science **35** (6): 808-810, 1970.
16. DAVIES, B. H. Carotenoids. In: Godwin, T. W. Chemistry and Biochemistry of plant pigments. 2 ed. London, 1976 Academic Press, v.2. 38-165p.
17. DEKAZOS, D. E. Callose formation by bruising and heating of tomatoes and its presence in processed products. Journal of Food Science **37** (4): 562-567, 1972.
18. DIETZ, M. J. & GOULD, W. A. Effects of process stage and storage on retention of beta-carotene in tomato juice. Journal of Food Science **51** (3): 847-848, 1986.
19. DREYWOOD, R. Quantitative test for carbohydrate material. Industrial and Engineering Chemistry Analytical **18**: 499, 1946.
20. DURÁN, L. Controle de qualidade na indústria de alimentos. In: SEMINÁRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: resumos. Campinas, ITAL, 1991. p.1.
21. EL-MILADI, S. S.; GOULD, W. A.; CLEMENTS, R. L. Heat processing effect on starch, sugars, proteins, amino acids, and organic acids of tomato juice. Food Technology **23** (5): 691-695, 1969.
22. EUA. Pat. 3.172.770 R. A. Miller; N. J. Haddonfield. Process for preparing tomato concentrate. Campbell Soup Company, Camden, New Jersey. 23 Mar. 1962; 9 Mar. 1965.

23. EUA. Pat. 3.404.012 W. H. Craig. Process of preparing tomato concentrate. Pennsalt Chemicals Corporation, Pennsylvania 25 Jun. 1963; 1 Out. 1968.
24. EUA. Pat. 3.864.504 Z. Szabo; F. Hirschberg. Process to produce high concentration tomato puree by transforming colloids. Koplex Nagyberendezesek Export Import Vallanata, Budapest. 10 Dec. 1973; 4 Feb. 1975.
25. FAO PRODUCTION YEARBOOK. Rome, c1991. v.44, p.131.
26. FENERCIOGLU, H. & GOULD, W. A. Effects of concentration and reconstitution on tomato juice quality. Research Circular Ohio Agricultural, USA. 250: 13-15, 1979.
27. FODA, Y. H. & McCOLLUM, J. P. Viscosity as affected by various constituents of tomato juice. Journal of Food Science 35 (4): 333-337, 1970.
28. GALVIS, J. A. Fisiologia pós-colheita de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) Cultivar Ângela. Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 1987. 123p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
29. GARRUTI, D. S. Contribuição ao estudo da estabilização física do suco de maracujá integral (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg.) Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1989. 198p. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
30. GOOSE, G. P. & BINSTED, R. Tomato paste and other tomato products. London, Food Trade Press Ltd, 1973. 270p.

31. GOULD, W. A. Tomato production, processing and quality evaluation. Wesport, AVI, 1974. 445p.
32. GOULD, W. A. Quality evaluation of processed tomato juice. Journal Agricultural and Food Chemistry 26 (5): 1006-1011, 1978.
33. GREENWOOD, C.D. & MUNRO, D. N. Carbohidrates In: PRIESTLEY, R. J. ed. - Effects of heating on foodstuffs. London, Applied science, c1979. p.35-76.
34. GUASTALLA, M. Le conserve di pomodoro. Parma, Stazione Sperimentale per l'industria delle Conserve Alimentari, 1968. 107p. (Collana di monografie tecnologiche, 7).
35. HANDY, M. M. & GOULD, W. A. Varietal differences in tomatoes: a study of alpha-keto acids, alpha-amino compounds, and citric acid in eight tomato varieties before and after processing. Agricultural and Food Chemistry 10 (6): 499-503, 1962.
36. HAND, D. B.; MOYER, J. C.; RANSFORD, J. R.; HENING, J.C.; WHITTENBERGER, R. T. Effect of processing conditions on the viscosity of tomato juice. Food Technology 9: 228-235, 1955.
37. HARPER, J. C. & EL SAHRIGI, A. F. Viscometric behavior of tomato concentrates. Journal of Food Science 30 (3): 470-476, 1965.
38. HOBSON, G. E. & DAVIES, J. N. The tomato. In: HULME, A. C. -The biochemistry of fruits and their products. London, Academic Press, 1971. v.2. p. 437-482.

39. HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. Journal of Texture Studies 2 (4): 393-418, 1971.
40. JIMÉNEZ, G. & DURÁN, L. Propiedades reológicas de productos derivados de frutas y de tomate. Revisión bibliográfica. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 19 (2): 203-216, 1979.
41. KERTESZ, Z. I. Pectic enzymes. III. Heat inactivation of tomato pectin-methoxylase (pectase). Food Research 4 (2): 113-116, 1939.
42. KOLAROV, K. & DASHKO, R. E. La viscosidad dinámica de los zumos de tomate. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 13 (2): 295-300, 1973.
43. KOPELMAN, J. & MANNHEIM, H. C. Evaluation of two methods of tomato juice concentration. I. Heat-transfer coefficients. Food Technology 18 (6) : 117-120, 1964.
44. LEONI, C & BELLUCCI, G. Le conserve di pomodoro. Stazione sperimentale per l'industria delle conserve alimentari in Parma, 1980. 175p.
45. LEONI, C.; BOLZONI, L.; ALDINI, R. La sosta del pomodoro triturato prima della raffinazione e concentrazione: effetti sulla consistenza del concentrato prodotto in funzione della varietà di pomodoro trasformata. Industria Conserve 56 (1): 10-13, 1981.

46. LINDNER, P.; SHOMER, I.; VASILICER, R. Distribution of protein, lycopene and the elements Ca, Mg, P and N among various fractions of tomato juice. Journal of Food Science 49 (4): 1214-1218, 1984.
47. LUH, B. S. & DAQUD, H. N. Effect of break temperature and holding time on pectin and pectic enzymes in tomato pulp. Journal of Food Science 36 (7): 1039-1043, 1971.
48. LUND, D. B. Effects of heat processing. Food Technology 27 (1): 16-18, 1973.
49. McCOLLOCH, R. J.; NIELSEN, B. W.; BEAVENS, E. A. Factors influencing the quality of tomato paste. II. Pectic changes during processing. Food Technology 4 (9): 339-343, 1950.
50. McCOLLUM, J. P. & FODA, H. A modified sample holder for determining viscosity of a diphasic fluid. Journal of Food Science 32 (5): 562-565, 1967.
51. MANNHEIM, H. C. & KOPELMAN, J. Evaluation of two methods of tomato juice concentration. II Product comparisons. Food Technology 18 (6) : 121-124, 1964.
52. MANNHEIM, H. C. & PASSY, N. Non-Membrane concentration. In: SPICER, A. ed. - Advances in preconcentration and dehydratation of foods. New York, John Wiley, c1974. p.151-193.



53. MARSH, G. L.; BUHLERT, J. E.; LEONARD, J. S. Effect of composition upon bostwick consistency of tomato concentrate. Journal of Food Science 45 (3): 703-710, 1980.
54. MIERS, J. C.; SANSHUCK, D.W.; NUTTING, M.D.; WAGNER, J. R. Consistency of tomato products effect of holding temperature and pH. Food Technology 24 (12): 1399-1406, 1970.
55. MINANI, K. & FONSECA, H. Tomate: produção, pre-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 92p. (Série extensão agroindustrial, 8).
56. MOLWANE, S. D.; GUNJAL, B. B. Viscometric characteristics of cold-break and hot-break extracted tomato juice concentrates. Journal of Food Science and Technology 22 (5): 353-357, 1985.
57. MORETTI, R. H. Concentração de alimentos fluidos. Campinas, Faculdade de Tecnologia de alimentos, 1973. 43p. (Apostila).
58. MORETTI, R. H.; HINOJOSA, R. L.; PEZDA, N. H. Aproveitamento industrial do mamão. Anais do 1º simpósio Brasileiro sobre a cultura do mamoeiro. F.C.A.V. Jaboticabal. Livrocerees Ltda. Piracicaba, 1980.
59. MUDAHAR, G. S.; SIDHU, J. S.; MINHAS, K. S. Technical note: effect of low pH preservation on the colour and consistency of tomato juice. Journal of Food Technology 21 (2): 233-238, 1986.

60. NAGAI, H. Avanços obtidos com o melhoramento genético do tomate no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRODUÇÃO E ABASTECIMENTO DE TOMATE, 1. Viçosa, EMATER, 1989. p. 88-105.
61. NAS-NRC. National Academy of Sciences/National Research Council. Recommended dietary allowance. 9 ed. Washington, 1980. 55-60 p.
62. NATIONAL CANNERS ASSOCIATION RESEARCH LABORATORIES. Analysis of tomato products. In: NATIONAL CANNERS ASSOCIATION RESEARCH LABORATORIES. Laboratory manual for food canners and processors. 3. ed. Westport, AVI, 1968. v. 2, p.277-317.
63. NELSON, N. A. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. Journal Biological Chemistry Baltimore, 135: 136-175, 1944.
64. NELSON, P. E. & HOFF, J. E. Tomato volatiles: effect of variety, processing and storage time. Journal of Food Science 34 (1): 53-57, 1969.
65. NIEBERGALL, P. J.; SCHNAARE, R. L.; SUGITA, E. T. Nonlinear regression applied to non-newtonian flow. Journal Pharmaceutical Science 60 (9): 1393-1402, 1971.
66. NOBLE, A. C. Investigation of the color changes in heat concentrated tomato pulp. Journal Agricultural and Food Chemistry 23 (1): 48-49, 1975.

67. OKITANI, A.; KIM, S.; HAYASE, F.; CHUNG, T.; KATO, H. Heat-induced changes in free amino acids on manufacturing heated pulps, purées and pastes from tomatoes. Journal of Food Science **48** (4): 1366-1367, 1983.
68. OWENS, H.S. Methods utilized at Western Regional Research laboratory for extracion and analysis of pectic materials AIC-340, U.S.D.A. 1952.
69. PELEG, M. & MANNHEIM, H. C. Production of frozen orange juice concentrate from centrifugally separated serum and pulp. Journal of Food Science **35** (5): 649-651, 1970.
70. PINTO, C. M. & CASALI, V. W. D. Origem e botânica do tomateiro. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, **6** (66): 8-9, 1980.
71. PIMAZZONI, O. Procedimento ultra-rápido per la preparazione di derivati di pomodoro. Industria Conserve **36** (1): 35-43, 1961.
72. RADFORD, T.; KAWASHIMA, K.; FRIEDEL, P. K.; POPE, L. E.; GIANTURCO, M. A. Distribution of volatile compounds between the pulp and serum of some fruit juices. Journal Agricultural and Food Chemistry **22** (6): 1066-1070, 1974.
73. RAO, M. A.; BOURNE, M. C.; COOLEY, H. J. Flow properties of tomato concentrates. Journal of Texture Studies **12** (4): 521-538, 1981.
74. RAO, M. A. & COOLEY, H. J. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. Journal of Food Process Engineering, **6** (3): 159-173, 1983.

75. REED, B. J.; HENDRIX, Jr. C. M.; HENDRIX, D. L. Quality control manual for citrus processing plants. Florida, Intercit, 1986. v.1. p.30-56.
76. RODRIGUEZ, D.B.; RAYMUNDO, L. C.; LEE, T. C.; SIMPSON, K. L.; CHICHESTER, C. D. Carotenoids pigments changes in ripening Momordica charantia fruits. Ann. Bot., London, 40: 615-624, 1976.
77. SARAVALCOS, G. D.; ODA, Y.; MOYER, J. C. Tube viscometry of tomato juice and concentrates. Geneva, New York State Agricultural Experiment Station, Cornell University, 1967. 11p.
78. SARAVALCOS, G. D. - Rheological aspects of fruit juice evaporation In: SPICER, A. ed. - Advances in preconcentration and dehidratation of foods. New York, John Wiley, c1974. p.101-110.
79. SHERKAT, F. & LUH, S. Quality factors of tomato pastes made at several break temperatures. Journal Agricultural and Food Chemistry 24 (6): 1155-1158, 1976.
80. SIDHU, J. S.; JAIN, V. K.; BAINS, G.S. Effect of processing on tomato juice quality and ascorbic acid content. The Industrial Journal Nutritional Dietet 12: 139-141, 1975.
81. SILVA, S. D.; LEITÃO, F. M.; SHIROSE, I.; DELAZARI, I.; CAMPOS, R. B. Avaliação físico-química e microbiológica dos concentrados de tomates comerciais. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas, 41: 69-88, 1975.

82. SIESO, V. & CROUZET, J. Tomato volatile components: effect of processing. Food Chemistry 2: 241-252, 1977.
83. STONE, H. & SIDEL, J. L. Sensory evaluation practices. Academic Press, inc. Orlando, Florida 1985, p.311.
84. STRODTZ, N. H.; BLUMER, T. E.; CLIFCORN, L. E. The retention of carotene during the canning of tomato juice. Food Technology 6 (8): 299-301, 1952.
85. SULC, D. Vergleichende untersuchungen an tomatenkonzentraten, hergestellt nach dem klassischen und nach dem modifizierten serum-verfahren. Flüssiges Obst 9: 334-344, 1976.
86. TANGLERTPAIBUL, T. & RAO, M. A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. Journal of Food Science 52 (1): 141-145, 1987.
87. TAVARES, C. A. Composição de carotenoides e valor de Vitamina A em tomate, milho, pêssego e seus produtos processados. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1991. 127p Tese (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas
88. TELIS, J. R. & GASPARETTO, C. A. Hidrodinâmica y transferencia de calor en flujos laminares de fluidos no-newtonianos. In: IV CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA, La Serena, Chile, 1991. p. 147-150.

89. TELIS, J. R.; MAIA, C. A.; GASPARETTO, C. A. Influência do conteúdo de polpa na hidrodinâmica do escoamento laminar de purê de tomate. In: XIX ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS. Campinas, 1991.
90. TRIFIRÓ, A.; GHERARDI, S.; BELLOLI, S.; SACCANI, G.; ALDINI, R. Effetti della tecnologia di lavorazione e delle condizioni di magazzinaggio sulle reazioni d imbrunimento non enzimatico in derivati del pomodoro. Industria Conserve 65 (3): 210-215, 1990.
91. VITALI, A. A. & RAD, M. A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. Journal of Food Science 49 (3): 882-888, 1984.
92. WHITTENBERGER, R. T. & NUTTING, G. C. Effect of tomato cell structures on consistency of tomato juice. Food Technology 11 (1): 19-22, 1957.
93. WOOLFE, M. L. - Pigments. In: PRIESTLEY, R. J. ed. - Effects of heating on foodstuffs. London, Applied science, c1979. p.77-119.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo 1:

A Figura 10 mostra o fluxograma do processo de obtenção do concentrado recombinado a partir das frações polpa e soro concentrado.

As frações polpa e soro concentrado foram misturadas segundo os cálculos mostrados abaixo:

Rendimento da polpa na centrifugação:

$$\text{kg (Matéria-prima)} = \text{kg (soro)} + \text{kg (polpa)}$$

$$106,8 \text{ kg} = 91,2 \text{ kg} + X \text{ kg}$$

$$X \text{ kg} = 15,6 \text{ kg (Rendimento teórico)}$$

$$\text{Rendimento prático} = \frac{11 \text{ kg}}{15,6 \text{ kg}} \times 100 = 70,51\%$$

Rendimento do soro concentrado:

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{kg sólidos solúveis no soro concentrado}}{\text{kg sólidos solúveis no soro sem concentrar}} \times 100$$

$$\text{Rendimento} = \frac{9,62 \text{ kg} \times 0,678}{91,2 \text{ kg} \times 0,96} \times 100 = 74,50\%$$

Fator limitante: polpa.

Quantidade de soro conc. = kg soro concentrado x % polpa  
adicionar à polpa

Quantidade de soro conc. = 9,62 kg x 0,705 = 6,78 kg  
adicionar à polpa

Cálculo da concentração final do concentrado recombinação:

kg (Massa total) = 6,78 kg (soro concentrado) + 11 kg (polpa)

kg (Massa total) = 17,78 kg

$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{\text{kg sólidos solúveis polpa} + \text{kg sólidos solúveis soro conc}}{\text{kg (massa total)}}$$
$$^{\circ}\text{Brix} = \frac{6,78 \text{ kg} \times 0,678 + 11 \text{ kg} \times 0,96}{17,78 \text{ kg}} = 31,75.$$



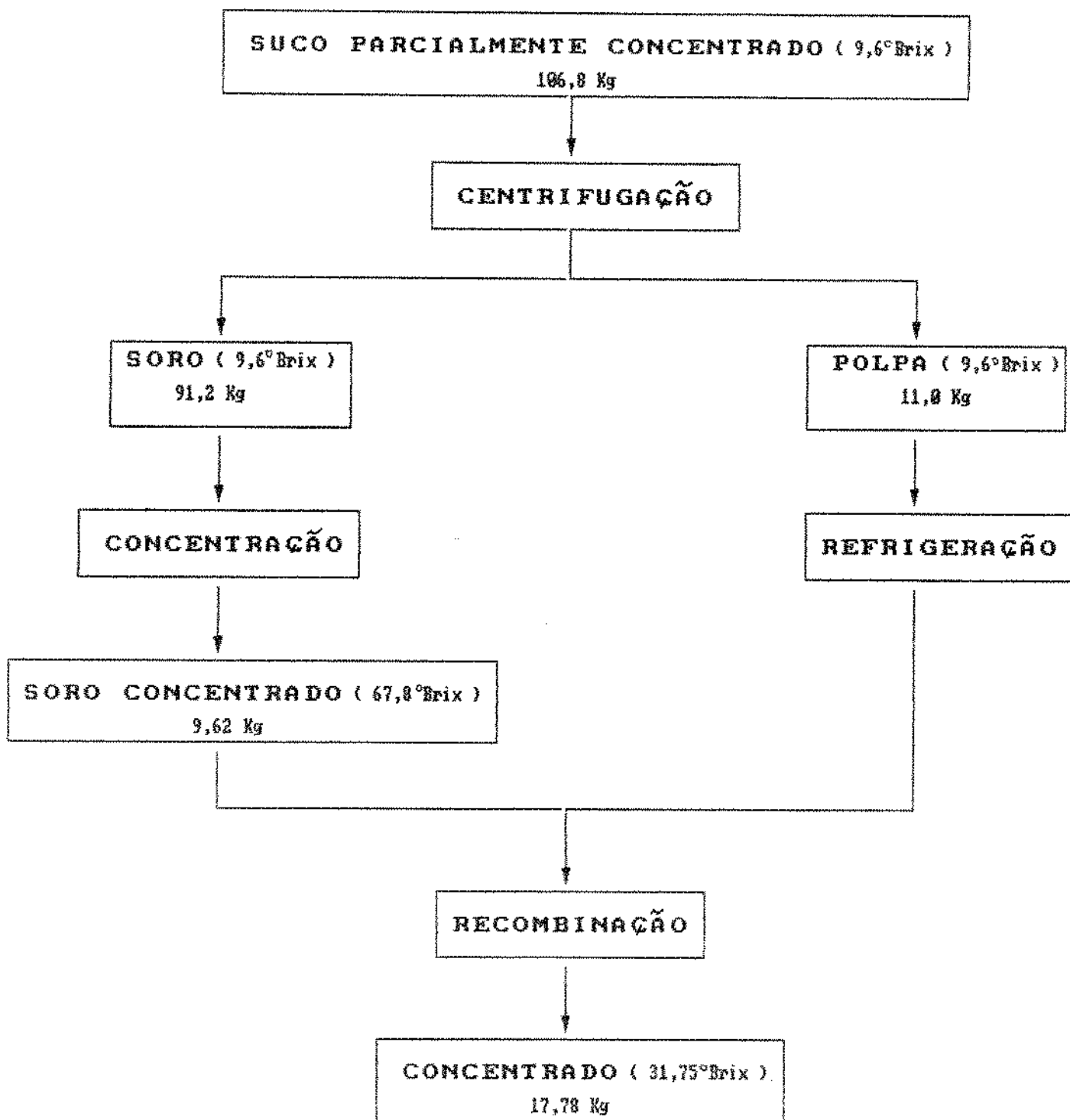


Figura 10. Fluxograma e balanço de massa do processo de obtenção do concentrado re combinado.

## 8. GLOSSÁRIO:

**Suco simples:** suco extraído do tomate inteiro esmagado, com remoção da pele e sementes, peneirado, sem diluição ou concentração.

**Suco parcialmente concentrado (1):** suco de tomate concentrado, até 9,6°Brix.

**Purê de tomate:** suco de tomate parcialmente concentrado, até 12°Brix (Industrial).

**Suco parcialmente concentrado (2):** mistura 1:1 de suco simples com purê de tomate, (p/p) (Experimental).

**Polpa de tomate:** fração sólida obtida pela centrifugação do suco de tomate (Experimental).

**Soro de tomate:** fração líquida obtida pela centrifugação do suco de tomate (Experimental).

**Concentrado simples:** suco de tomate integral concentrado pelo método convencional, até uma concentração mínima de 18°Brix (Industrial).

**Concentrado duplo:** suco de tomate integral concentrado pelo método convencional, até uma concentração mínima de 25°Brix (Industrial).

**Concentrado triplo:** suco de tomate integral concentrado pelo método convencional, até uma concentração mínima de 33°Brix (Industrial).

Concentrado recombinação: obtido mediante a mistura da fração líquida concentrada (soro) e da fração sólida (polpa) obtida pela centrifugação do suco de tomate (Experimental).