

Marlene Bampi

**DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS
TECNOLÓGICAS PARA A ELABORAÇÃO DE UM PRODUTO
CÁRNEO SALGADO COM TEOR DE SÓDIO REDUZIDO**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Alimentos. Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos.

Orientador: Dr. João Borges Laurindo
Coorientadora: Dr^a Franciny Campos Schmidt

Florianópolis
2015.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bampi, Marlene

Desenvolvimento de alternativas tecnológicas para a elaboração de um produto cárneo salgado com teor de sódio reduzido / Marlene Bampi ; orientador, João Borges Laurindo ; coorientadora, Franciny Campos Schmidt. - Florianópolis, SC, 2015.

192 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. carne bovina, . 3. salga e secagem. 4. vácuo. 5. micro-ondas . I. Borges Laurindo, João. II. Campos Schmidt, Franciny . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por acreditar que ele sempre esteve presente nos diversos momentos da minha vida. Ele quem me deu força, fé e perseverança para chegar até aqui.

À minha família pelo exemplo de caráter e simplicidade, pelo amor e apoio incondicional, a qual eu tenho o maior orgulho de pertencer.

Ao Professor Dr. João Borges Laurindo e à Professora Dr^a Franciny Campos Schmidt pela orientação, apoio, confiança, amizade e por todo ensinamento transmitido, o qual eu certamente levarei comigo na minha caminhada profissional.

Aos membros da banca, por todas as críticas e sugestões que resultam no aprimoramento do trabalho final.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao CNPQ e a CAPES pelo apoio financeiro.

À empresa Calemba que gentilmente nos forneceu as amostras de charque utilizadas em partes neste trabalho.

À estagiária Natalia pela enorme contribuição nos experimentos realizados e por sua amizade e companheirismo.

As amigas Ediely, Daniele, Priscila, Isadora, Silvana e Angelise pelo incentivo e confiança transmitida nos momentos de desânimo e pelos bons momentos de diversão que marcaram estes quatro anos de estudo.

Aos meus irmãos de coração Flávio e Milene pelos valiosos conselhos e que representam de maneira exemplar todo o significado e o valor da amizade (para sempre FM²).

Aos amigos de longe, mas que sempre se fizeram presentes Danielle, Aline, Cátia, Marta, Marieli, Cristiane, Kessiane, Barbara e Lindomar por toda a amizade, apoio e carinho.

A todos os amigos do PROFI, pela amizade, companhia, auxílio e pelos bons momentos compartilhados. Em especial ao Giustino e a Jaqueline pelas sugestões dadas a este trabalho.

Aos colegas e amigos do PPGEAL que de alguma forma ou outra contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Meu MUITO OBRIGADA a todos!

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King

RESUMO

O processo de fabricação de carnes salgadas e desidratadas envolve longas etapas de salga e secagem, resultando em um produto com alta concentração de sal. O objetivo deste trabalho foi estudar alternativas de processos para a elaboração de um produto cárneo salgado com teor de sódio reduzido, através da combinação de diferentes técnicas de salga, secagem e dessalga. Este estudo foi dividido em três etapas. A primeira consistiu na avaliação de diferentes técnicas de salga (úmida e mista) à pressão atmosférica (Patm), com um e três pulsos de vácuo (1PV e 3PV). Em seguida avaliou-se individualmente o efeito da adição do ácido acético (AA), ácido cítrico (AC) e ácido láctico (AL) e a substituição de cloreto de sódio por cloreto de potássio na salga úmida. Para a realização do estudo da substituição parcial do NaCl foram utilizadas três formulações de salmoura: (A) 100% NaCl/0% KCl, (B) 75% NaCl/25% KCl e (C) 50% NaCl/50% KCl (com concentração total de sal de 6 mol L^{-1}). A influência das técnicas de salga nos cortes de carne bovina foi avaliada através dos parâmetros: perda de água (WL), perda de massa total (ML), ganho de sal (SG) e atividade de água (a_w). Os resultados demonstraram que a aplicação de 1PV e 3PV pode ser utilizada para reduzir os tempos de salga, tanto na salga úmida quanto na mista. No final de seis horas de salga, a aplicação de 1PV e 3PV resultou em um aumento no SG de 3,2 e 9,8% na salga úmida e 3,2 e 24% na salga mista, respectivamente. Os processos de marinação com adição de ácidos orgânicos (AA, AC e AL) não exerceram influência significativa na WL e no SG pelas amostras de carne bovina, em relação a salga sem a adição de ácido. As formulações B e C permitem uma redução no teor de sódio nas amostras de aproximadamente 20 e 70%, respectivamente, ao final de seis horas quando comparadas à formulação A. Na segunda etapa do trabalho os cortes de carne bovina salgados foram desidratados por secagem convectiva (SC), secagem a vácuo (SV) e secagem por micro-ondas a vácuo (SMV). A influência dos métodos de secagem na cinética de desidratação foi avaliada através dos parâmetros de umidade, a_w e taxas de secagem. Em seguida, as amostras de carne desidratadas pelos diferentes métodos de secagem foram caracterizadas em relação à porosidade acessível, propriedades mecânicas e microscopia eletrônica de varredura. O valor das taxas de secagem obtidas na SMV é em média 60 e 54 vezes maior do que na SC e na SV, respectivamente. No processo de SMV a a_w de 0,7 nas

amostras é atingida em aproximadamente 27 minutos, enquanto nos processos de SV são necessárias 32 horas e na SC não foi possível atingir esse valor de a_w em 40 horas de processo. As amostras submetidas à SV e SMV apresentaram um aumento significativo da porosidade acessível e afastamento dos feixes de fibras verificado através das análises de porosidade e microscopia eletrônica de varredura, respectivamente, em relação à amostra submetida à SC. Independentemente dos métodos de secagem (SC, SV e SMV) em que as amostras foram submetidas, às salgadas com as formulações de salmoura B e C apresentaram maiores valores de força de corte e dureza que às salgadas com a formulação A. Por último, na terceira etapa avaliou-se duas técnicas de dessalga com substituição de NaCl por KCl à pressão atmosférica (Patm) e com quatro pulsos de vácuo (4PV) para a obtenção do charque dessalgado com concentração de total de sal (NaCl+KCl) de 2,5% (g 100g⁻¹). Após a dessalga do charque à Patm e com 4PV, foi realizada a substituição de NaCl por KCl trocando a solução de dessalga por uma solução de salmoura contendo 50% NaCl/50% KCl (com concentração total de sal de 0,44 mol L⁻¹). A influência das técnicas de dessalga com substituição de NaCl por KCl no charque dessalgado foram avaliadas através de alguns parâmetros físico-químicos (umidade, a_w , teor de Na⁺, K⁺ e Cl⁻) em comparação com o charque dessalgado sem substituição do sódio. Com relação aos parâmetros físico-químicos avaliados nos processos de dessalga, não houve diferença significativa entre as metodologias de dessalga com substituição à Patm e com 4PV. As técnicas estudadas de substituição de NaCl por KCl à Patm e 4PV permitiram a redução do teor de sódio em aproximadamente 50%, quando comparado ao charque dessalgado sem substituição do sódio.

Palavras chaves: carne bovina, salga, secagem, vácuo, micro-ondas e dessalga.

ABSTRACT

The salted and dried meat is widely consumed in Brazil, as a protein source. The manufacture of this type of product is still handmade and involves long steps of salting and drying, resulting in a product with high salt concentration. The aim of this work is to study alternative processes for the preparation of a salted meat product with reduced sodium content, for combining of different salting techniques, drying and desalting. This study was divided into three stages. The first consisted of the evaluation of different salting techniques (wet and dry-wet) at atmospheric pressure (Patm), with one and three vacuum pulses (1PV and 3PV). Then was evaluated the individual effect of the addition of acetic acid (AA), citric acid (AC) and lactic acid (AL) and of the replacement of sodium chloride by potassium chloride in the wet salting. To study the replacement of salts were used three brine formulations: (A) 100% NaCl /0% KCl, (b) 75% NaCl /25% KCl and (C) 50% NaCl /50% KCl (total concentration in salt of 6 mol L⁻¹). The influence of the salting techniques in the beef cuts was evaluated using the following parameters: water loss (WL), total mass loss (ML), salt gain (SG) and water activity (a_w). The results showed that application of 1PV and 3PV can be used to reduce the curing time, in the wet and mixed salting. At the end of six hours of curing, applying 1PV and 3PV resulted in an increase in SG of 3.2 and 9.8% at the wet salting of 3.2 and 24% at the dry-wet salting, respectively. The marination processes with the addition of weak acids (AA, AC and AL) do not exert significant influence on the WL and SG in the beef samples, compared with the salting without the addition of acid. Formulations B and C enable a reduction in the sodium content in the samples approximately 20 and 70%, respectively, after six hours when compared with formulation A. In the second stage of this study the salted meat cuts were dehydrated by convective drying (SC), vacuum drying (SV), and by microwave vacuum drying (SMV). The influence of drying methods on the kinetics of dehydration was evaluated by the humidity parameters, and drying rates. Then, the dried meat samples by different drying methods were characterized for accessible porosity, mechanical properties and scanning electron microscopy. The value of the drying rates obtained on the SMV was 60 and 54 times higher than in the SC and the SV, respectively. In the process of SMV the a_w in samples of approximately 0.7 was reached in 27 minutes while in the SV processes are required 32 hours and the SC were not reached in 40 hours of the

process. In the samples submitted to SV and SMV was a checked a significant increase of accessible porosity and separation of the fiber bundles through porosity and scanning electron microscopy analysis, respectively, compared with samples submitted to SC. Independently of drying methods (SC, SV and SMV) that the samples were submitted, the samples salted with brine formulations B and C showed higher cutting force and hardness values that salted with formulation A. Finally, in the third step is evaluated two desalting techniques with replacing of NaCl by KCl at atmospheric pressure (P_{atm}) and with four vacuum pulses (4PV) to obtaining a desalted *charque* with the total concentration of salt (NaCl + KCl) of 2.5% ($g\ 100^{-1}$). After the desalting of the *charque* at P_{atm} and with 4PV, the replacing of NaCl by KCl was held substituting the desalting solution containing solution by a 50% of NaCl/50 % of KCl of 50% (with the total salt concentration of $0.44\ mol\ l^{-1}$). The influence of desalting techniques with replacing of NaCl by KCl in *charque* desalted were evaluated using some physicochemical parameters (moisture, a_w , content of Na^+ , K^+ and Cl^-) in comparison with the *charque* desalted without replacement of sodium. Regarding the physical and chemical parameters evaluated in the desalting process, there was no significant difference between the methods of desalting with substitution at P_{atm} and with 4PV. The techniques studied of replacing of NaCl by KCl at P_{atm} and with 4PV allowed the reduction of sodium content by approximately 50% when compared to *charque* desalted without replacement of sodium.

Keywords: beef, salting, drying, vacuum, microwave and desalting.

LISTA DE FIGURAS

Figura A 1 Organograma esquemático das estratégias de investigação utilizadas na parte experimental dos Capítulos 2, 3 e 4.....	30
Figura 1.1 Representação esquemática da organização estrutural do músculo.	34
Figura 1.2 Representação esquemática do estado químico da mioglobina relacionado com a cor da carne.	37
Figura 1.3 Fluxograma das etapas de produção do charque.	41
Figura 1.4 Representação do complexo de proteínas miofibrilares e a expansão dos filamentos de actina e miosina pelos íons cloretos.	50
Figura 1.5 Transferência de massa na desidratação osmótica.	51
Figura 1.6 Curva típica de velocidade de secagem para condições de processo constantes.	60
Figura 2.1 Representação esquemática do dispositivo experimental utilizado na salga úmida de cortes de carne bovina.....	72
Figura 2.2 Representação esquemática do sistema utilizado na salga seca de cortes de carne bovina.....	73
Figura 2.3 Fluxograma esquemático do estudo da cinética de transferência de massa durante a salga de cortes de carne bovina.....	73
Figura 2.4 Curva de pressão com aplicação de um pulso de vácuo (1PV) e três pulsos de vácuo (3PV)utilizado no processo de salga úmida e mista.	76
Figura 2.5 Curva de pressão com aplicação de três pulsos de vácuo (3PV) utilizado no processo de salga úmida e mista.	76

Figura 2.6 Cinéticas de perda de água (WL) pelos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à P_{atm} , com 1PV e 3PV.....	85
Figura 2.7 Área disponível para a transferência de massa na salga de cortes de carne bovina (a) a pressão atmosférica e (b) com pulso de vácuo.	87
Figura 2.8 Cinéticas de ganho de sal (SG) pelos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à P_{atm} e com 1PV e 3PV....	88
Figura 2.9 Cinética de perda de massa total (ML) pelos cortes de carne bovina submetidos a salga (a) úmida e (b) mista à P_{atm} , com 1PV e 3PV.....	91
Figura 2.10 Cinética da variação da a_w nos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à P_{atm} , com aplicação de 1PV e 3PV.....	94
Figura 2.11 Cinéticas de (a) perda de água (WL) e (b) ganho de sal (SG) pelos cortes de carne bovina submetidos aos processos de marinação com ácido acético (AA), ácido cítrico (AC), ácido lático (AL) e salga úmida com 1PV (sem adição de ácido).	99
Figura 2.12 Cinética de (a) perda de massa total (ML) e (b) variação da atividade de água (a_w) pelos cortes de carne bovina submetidos aos processos de marinação e salga úmida com 1PV.	102
Figura 2.13 Cinética de (a) perda de água (WL) e (b) ganho de sal (SG) durante a salga úmida de cortes de carne bovina com diferentes formulações de salmoura (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.....	106

Figura 2.14 Cinética da concentração de íons (a) sódio, (b) potássio e (c) cloretos nos cortes de carne bovina durante a salga úmida com diferentes formulações de salmoura. (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.	108
Figura 2.15 Cinética da variação da atividade de água (a_w) nos cortes de carne bovina durante a salga úmida com diferentes formulações de salmoura.(A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e(C) 50% de NaCl e 50% de KCl.	110
Figura 3.1 Estimativa da T_d e da ΔH_d das proteínas de corte de carne bovina. (a) TI, TII e TIII, (b) ΔH_d	118
Figura 3.2 Representação esquemática do sistema experimental utilizado no processo de secagem a vácuo.	121
Figura 3.3 Representação do perfil pressão-temperatura-tempo utilizado no sistema de secagem à vácuo.	122
Figura 3.4 Representação esquemática do dispositivo experimental utilizado na secagem por micro-ondas a vácuo.	123
Figura 3.5 Curva típica de análise de perfil de textura (TPA).	126
Figura 3.6 Termogramas de DSC para amostras de carne bovina (a) <i>in natura</i> e (b) imersas em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl.	128
Figura 3.7 Curvas de secagem de cortes de carne bovina salgada submetidos aos métodos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.	132
Figura 3.8 Variação da atividade de água dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).	135

Figura 3.9 Imagem dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).....	143
Figura 3.10 Microscopia eletrônica dos cortes de carne bovina <i>in natura</i> e salgados com a formulação A à Patm e com 3PV.....	151
Figura 3.11 Microscopia eletrônica dos cortes de carne bovina salgados com a formulação A e com de 3PV, e desidratados pelos métodos de secagem convectiva (SC), secagem a vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).....	153
Figura 3.12 Imagem das amostras de carne bovina salgadas e desidratadas pelos processos de: (a) secagem convectiva, (b) secagem a vácuo e (c) secagem por micro-ondas a vácuo.	154
Figura 4.1 Fluxograma esquemático dos métodos e etapas da dessalga do charque.	160
Figura 4.2 Cinética da redução de concentração de cloreto de sódio (X^{NaCl}) nas amostras de charque comercial durante o processo de dessalga à pressão atmosférica (Patm) e com quatro pulsos de vácuo (4PV).....	163
Figura 4.3 Regiões analisadas do charque dessalgado à Patm e com 4PV.....	165
Figura 4.4 Cinética da concentração dos íons sódio (a), potássio (b) e cloretos (c) nas amostras de charque dessalgado com substituição parcial de NaCl por KCl à Patm e com 4PV.	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Diferenças tecnológicas de processo, matéria prima, composição química e vida útil entre carne-de-sol, charque e <i>jerked beef</i>	43
Tabela 2.1 Escala de variação da diferença total de cor.....	78
Tabela 2.2 Caracterização físico-química das amostras de carne bovina <i>in natura</i>	83
Tabela 2.3 Resultados das análises de pH e parâmetros de cor das amostras <i>in natura</i> e das amostras submetidas à salga úmida e mista à Patm e com aplicação de 1PV e 3PV.....	96
Tabela 2.4 Resultados das análises de pH e cor dos cortes de carne bovina submetidos à salga úmida com ácidos fracos e um pulso de vácuo.....	104
Tabela 2.5 Valores de pH e dos parâmetros de cor dos cortes de carne bovina <i>in natura</i> e submetidos à salga úmida com diferentes formulações de salmoura. (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e(C) 50% de NaCl e 50% de KCl.....	111
Tabela 3.1 Temperaturas e entalpia total de desnaturação estimadas para as proteínas de cortes de carne bovina <i>in natura</i> e tratados em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl.....	130
Tabela 3.2 Taxas de secagem dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).....	134
Tabela 3.3 Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com as formulações de salmoura A, B e C e desidratados pelos	

métodos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.	138
Tabela 3.4 Resultados da variação do pH e cor das amostras submetidas aos processos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.	140
Tabela 3.5 Porosidade acessível dos cortes de carne: <i>in natura</i> , submetidos à salga úmida com aplicação de 1PV e 3PV e desidratados pelos métodos SC, SV e SMV, utilizando as formulações de salmoura (A, B e C).	144
Tabela 3.6 Resultados da capacidade de reidratação (CR) e da capacidade de retenção de água (CRA) dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações (A, B e C) e desidratados por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV).	146
Tabela 3.7 Resultados das propriedades mecânicas de força máxima ($F_{máx}$), dureza (D), coesividade (C), elasticidade (E), gomosidade (G) e mastigabilidade (M) dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações (A, B e C) e desidratados por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV).	148
Tabela 4.1 Caracterização físico-química das amostras de charque comercial.	162
Tabela 4.2 Caracterização físico-química das amostras de charque dessalgado à Patm e com 4PV.	164
Tabela 4.3 Resultados das análises de pH, umidade, a_w e concentração de cloreto de sódio nas regiões I (superfície), II (intermediária) e III (centro), do charque dessalgado à Patm e com 4PV.	166
Tabela 4.4 Caracterização físico-química das amostras de charque dessalgado com substituição de NaCl por KCl à Patm e com 4PV.	170

LISTA DE ABREVIATURAS

- ΔE^* – Variação de cor
1PV – Um pulso de vácuo
3PV – Três pulsos de vácuo
AA – Ácido acético
AC – Ácido cítrico
AL – Ácido láctico
 a_w – Atividade de água
CaCl₂ . Cloreto de cálcio
CRA – Capacidade de retenção de água
DRP – Modelo de deformação-relaxação
HDM – Mecanismo hidrodinâmico
IV – Impregnação a vácuo
KCl – Cloreto de potássio
Mb – Mioglobina
MbO₂ – Oximioglobina
metMb – Metamioglobina
MgCl₂ – Cloreto de magnésio
ML – Perda de massa total
N₂ – Nitrogênio gasoso
NaCl – Cloreto de sódio
Patm – Pressão atmosférica
PV – Pulso de vácuo
SC – Secagem convectiva
SG – Ganho de sal
SM – Salga Mista
SMV – Secagem por micro-ondas a vácuo
SS – Salga seca
SU – Salga úmida
SV – Secagem a vácuo
T – Temperatura
T_d – Temperatura de desnaturação
TI – Temperatura de desnaturação da miosina
TII – Temperatura de desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas
TIII – Temperatura de desnaturação da actina
WL – Perda de água
X_a – Umidade
X^{Cl-} – Concentração de cloretos

X^{K^+} – Concentração de íons potássio
 X^{KCl} – Concentração de cloreto de potássio
 X^{Na^+} – Concentração de íons sódio
 X^{NaCl} – Concentração de cloreto de sódio
 ΔH_d – Entalpia total de desnaturação
 ΔT – Variação da temperatura

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	17
SUMÁRIO	21
INTRODUÇÃO	25
OBJETIVO GERAL	27
Objetivos Específicos	27
ESTRUTURA DO TRABALHO	28
CAPÍTULO 1	32
1 REVISÃO DA LITERATURA	32
1.1 Carne bovina – produção e consumo	32
1.2 Composição e Estrutura do Tecido Muscular	32
1.3 Alterações bioquímicas pós-morte que afetam a qualidade da carne.....	35
1.4 Produtos cárneos salgados	37
1.4.1 Charque.....	38
1.4.2 Jerked beef	39
1.4.3 Carne de sol	39
1.4.4 Etapas de produção dos produtos cárneos salgados e desidratados	40
1.5 Substituição parcial do cloreto de sódio	44
1.6 Processos de conservação	47
1.6.1 Processos de salga	48

1.6.2 Secagem	58
---------------------	----

CAPÍTULO 268

**2 INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE SALGA E DA
SUBSTITUIÇÃO DE NaCl POR KCl NA CINÉTICA DE
TRANSFERÊNCIA DE MASSA EM CORTES DE CARNE
BOVINA**68

2.1 Introdução68

2.2 Material e métodos71

2.2.1 Matéria-prima, preparo das amostras e soluções salinas71

2.2.2 Dispositivo experimental utilizado na salga úmida 71

2.2.3 Dispositivo experimental utilizado na salga mista de cortes de
carne bovina72

2.2.4 Processos de salga avaliados.....73

2.2.5 Processos de salga à pressão atmosférica74

2.2.6 Influência da aplicação de pulsos de vácuo na transferência de
massa durante a salga úmida e mista de cortes de carne bovina75

2.2.7 Efeito da adição de ácidos associados a um pulso de vácuo na
transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina
.....77

2.2.8 Influência da substituição parcial de NaCl por KCl na cinética de
transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina
.....77

2.2.9 Análises físico-químicas e parâmetros de processo77

2.2.10 Parâmetros do processo81

2.2.11 Análise Estatística82

2.3 Resultados e Discussões83

2.3.1	Caracterização físico-química da carne bovina <i>in natura</i>	83
2.3.2	Influência da aplicação de pulsos de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida e mista de cortes de carne bovina	83
2.3.3	Efeito da adição de ácidos associados a um pulso de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina	98
2.3.4	Influência da substituição parcial de NaCl por KCl na cinética de transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina com três pulsos de vácuo	105
2.4	Considerações finais	113
<u>CAPÍTULO 3</u>		<u>115</u>
<u>3 AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM DE CARNE BOVINA SALGADA</u>		<u>115</u>
3.1	Introdução	115
3.2	Material e Métodos	117
3.2.1	Influência da concentração de sal na temperatura de desnaturação das proteínas da carne bovina salgada	117
3.2.2	Preparação das amostras	118
3.2.3	Avaliação da influência de diferentes métodos de secagem na cinética de desidratação de cortes de carne bovina salgados	120
3.2.4	Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com diferentes soluções salinas e desidratados pelo método de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo	124
3.2.5	Análise Estatística	127

3.4. Resultados e Discussões	128
3.2.6 Influência da concentração de sal na temperatura de desnaturação das proteínas da carne bovina salgada	128
3.2.7 Avaliação da influência de diferentes métodos de secagem na cinética de desidratação de cortes de carne bovina salgados	131
3.2.8 Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura e desidratados pelo método de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo	137
3.5. Considerações finais	155
<u>CAPÍTULO 4</u>	<u>156</u>
<u>4 DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA de dessalinização PARA A OBTENÇÃO DE UM CHARQUE DESSALGADO COM BAIXO TEOR DE SÓDIO</u>	<u>156</u>
4.1 Introdução	156
4.2 Materiais e Métodos	158
4.2.1 Matéria-prima e preparo das amostras para o processo de dessalinização.....	158
4.2.2 Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na dessalga do charque comercial	158
4.2.3 Análises físico-químicas para a avaliação do processo de dessalga com substituição de NaCl por KCl	160
4.2.4 Análise Estatística	161
4.3 Resultados e discussões	162
4.3.1 Caracterização físico-química do charque comercial	162

4.3.2	Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na dessalga do charque comercial	163
4.3.3	Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na substituição do NaCl por KCl no charque dessalgado	167
4.4	Considerações Finais	171
<u>CAPÍTULO 5</u>		<u>172</u>
<u>5 CONCLUSÕES FINAIS</u>		<u>172</u>
5.1	Propostas para Trabalhos Futuros	174
<u>CAPÍTULO 6</u>		<u>175</u>
<u>6 REFERÊNCIAS</u>		<u>175</u>

DIAGRAMA CONCEITUAL DO TRABALHO

Desenvolvimento de alternativas tecnológicas para a elaboração de um produto cárneo salgado com teor de sódio reduzido

Por quê?

- O processo de fabricação de carnes salgadas e desidratadas (charque, carne-de-sol e *jerked beef*) no Brasil é ainda bastante artesanal e demorado, envolvendo longas etapas de salga e secagem;
- Há incentivos para a redução do teor de NaCl em alimentos cárneos como embutidos e empanados, com o intuito de reduzir os riscos de doenças cardiovasculares,
- O consumo de charque e *jerked beef* é pouco conveniente, devido ao alto teor de sal e ao longo tempo de dessalga.

Quem já fez?

- Há estudos sobre o efeito da redução/substituição de NaCl nos parâmetros físico-químicos e sensoriais de carnes processadas. Porém, estudos a respeito da cinética de salga com outros sais (KCl, CaCl₂, MgCl₂) são pouco abordados na literatura;
- A maioria dos estudos sobre o processo de elaboração do charque envolve a combinação da salga úmida com a salga seca, seguido da secagem ao sol.

Hipóteses

- É possível obter um produto cárneo salgado e desidratado com menor teor de NaCl ($\approx 8\%$ NaCl) que o charque e em menor tempo de processo, porém com propriedades físico-químicas semelhantes.
- É possível reduzir o tempo de salga de cortes de carne com aplicação de pulsos de vácuo durante a imersão dos cortes de carne bovina em solução saturada de sal.
- É possível reduzir o tempo de secagem dos produtos utilizando as técnicas de secagem a vácuo e secagem por micro-ondas a vácuo em relação à secagem convectiva.
- É possível reduzir o teor de sódio em produto cárneo salgado e desidratado através da substituição parcial do NaCl por KCl.
- É possível obter charque pronto para o consumo com teor de sódio reduzido, através da dessalga com substituição parcial de

Metodologia experimental

- Salga dos cortes de carne bovina à pressão atmosférica, com pulsos de vácuo e com adição de ácidos orgânicos fracos (acético, cítrico e láctico);
- Substituição da salmoura com concentração molar de 6 mol L^{-1} NaCl por soluções com: (i) 75/25 e (ii) 50/50 de NaCl/KCl (%) em mol kg^{-1} ;
- Aplicação de diferentes métodos de secagem (convectiva, vácuo e por micro-ondas a vácuo);
- Dessalga convencional e com pulsos de vácuo do charque comercial, seguida da substituição da solução de dessalga por solução salina contendo NaCl e KCl.

Respostas

- Cinéticas de perda de água, ganho de sal, perda de massa total e variação da atividade de água usando diferentes técnicas de salga.
- Curvas de secagem (umidade e variação da atividade de água);
- Propriedades físico-químicas e mecânicas dos cortes de carne bovina salgados e desidratados e do charque dessalgado.

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Os principais produtos cárneos salgados e desidratados fabricados no Brasil são o charque, a carne-de-sol e o *jerked beef*, normalmente confundidos entre si (Alves, 2008) e identificados pela maioria da população brasileira como carne seca (Facco, 2002). Esses produtos são obtidos pela desidratação da carne bovina através do processo de salga e secagem ao sol e apresentam características diferenciadas na composição química e vida útil, devido às variações dos processos de fabricação e matérias-primas utilizadas (Alves, 2008).

A salga e a secagem são as técnicas mais antigas utilizadas na conservação de produtos alimentícios (Albarracín et al., 2011, Louka e Allaf, 2002). Durante o processo de salga ocorre a transferência de água e sal, podendo os fluxos serem no mesmo sentido ou em contracorrente, dependendo da concentração de sal na solução (Barat et al., 2001; Chafer et al., 2001; Schmidt et al., 2008a). Além de intensificar o sabor, a presença do sal tem a capacidade de reduzir os valores de atividade de água, inibindo o crescimento microbiano e retardando os consequentes processos de deterioração (Albarracín et al., 2011). Os processos de salga com alta concentração de sal têm sido utilizados como pré-tratamentos antes da secagem, por reduzir a atividade de água a baixas temperaturas e a necessidade energética na etapa seguinte (Jangam et al., 2010). A redução da umidade e da atividade de água na secagem ocorre devido à transferência simultânea de calor e massa. Esse processo pode ser realizado através do uso de ar quente, aplicação de vácuo, por liofilização e fontes de aquecimento alternativas, como micro-ondas e rádio frequência (Haghi e Amanifard, 2008; Chen e Mujumbar, 2008).

Os produtos cárneos, como o bacalhau, o charque e o *jerked beef* são submetidos a processos mais intensos de salga e secagem, a fim de reduzir a atividade de água e, conseqüentemente, aumentar a vida útil (Barat et al., 2011, Bros et al., 2012). Isso resulta em produtos com elevado teor de sal, sendo necessário efetuar a dessalga dos mesmos antes do consumo (Bros et al., 2012). Tal processo normalmente demanda tempo e pode levar a perdas de nutrientes, como também à contaminação microbológica devido à manipulação e ao aumento da atividade de água dos produtos (Correia e Biscontini, 2003).

O charque e o *jerked beef* apresentam características interessantes para a expansão comercial interna e exportação, como baixa atividade de água e maior vida útil que as carnes *in natura*, podendo ser transportados e armazenados em temperatura ambiente (Felício, 2002a). No entanto, o processo de fabricação desses produtos ainda é bastante artesanal e envolve longas etapas de salga e secagem (Shimokomaki et al., 2006). Para aumentar a expansão comercial desse tipo de produto são necessárias alterações nos processos de fabricação, para torná-los mais padronizados e reduzir tanto o tempo de elaboração quanto o teor de sódio, porém mantendo as características sensoriais agradáveis e garantindo a estabilidade microbiológica do produto (Felício, 1999, Souza, 2006 e Shimokomaki et al., 2006).

Nos últimos anos, as mudanças no estilo de vida e as tendências do mercado levaram a um aumento no consumo de produtos de preparo rápido e com menor teor de sal. Esse aumento se deve à necessidade de redução do tempo de preparo e à preocupação com a elevada ingestão de sódio (Barat et al., 2011), que tem sido associada a doenças cardiovasculares como a hipertensão (Aliño et al., 2010a, Aliño et al., 2011, Barat et al., 2012).

Em resultado ao acordo entre o Ministério da Saúde e a Associação das Indústrias da Alimentação (Abia) que prevê a redução de sódio em 16 categorias de alimentos, as indústrias de alimentos conseguiram reduzir aproximadamente 1,3 toneladas de sódio entre 2011 e 2012 (Brasil, 2014). A redução do sódio em produtos alimentícios pode ser feita não só pela diminuição do conteúdo de sal total, mas também pela substituição parcial de cloreto de sódio (NaCl) por outros sais de cloreto (KCl , CaCl_2 , MgCl_2) ou sais não-cloretos (Barat et al., 2011, Albarracín et al., 2011). Dentre esses sais, o cloreto de potássio (KCl) é o mais estudado e o mais indicado, por apresentar propriedades físicas semelhantes ao cloreto de sódio (Aliño et al., 2009; Aliño et al., 2010a; Albarracín et al., 2011; Barat et al., 2011). No entanto, há pouco conhecimento a respeito da influência da alteração da formulação de sal nos processos de salga e pós-salga de carne. A necessidade de diminuir a concentração de NaCl exige uma compreensão mais precisa sobre o processo de salga, principalmente no que diz respeito à cinética de transferência de sal e de água (Barat et al., 2011). O uso de misturas de sais com baixo teor de sódio também pode implicar em alterações significativas nas diferentes etapas seguintes ao processo de salga, como na secagem, na maturação e na vida útil (Aliño et al., 2010b; Barat et al., 2011). Isso demonstra a importância do

estudo da combinação de diferentes processos na elaboração de alimentos semi-prontos com baixo teor de sal e que ao mesmo tempo sejam estáveis microbiologicamente (Bros et al., 2012).

Os produtos cárneos salgados e desidratados, com baixo teor de sódio e vida útil maior que a carne *in natura*, se apresentam como um grande potencial de expansão comercial (Felício 2002b). Estes produtos se harmonizam com a vida moderna, por serem produtos nutritivos e não necessitarem da etapa de dessalga (reduzindo o tempo de preparo) atendendo à demanda crescente dos consumidores em relação à redução de sódio, além de proporcionar um melhor aproveitamento industrial das sobras frigoríficas.

OBJETIVO GERAL

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um processo adequado para a obtenção de um produto cárneo salgado e desidratado, com teor de sódio reduzido. Para isso, foram avaliados diferentes processos de salga (salga mista e salga úmida à pressão atmosférica e com pulsos de vácuo) e secagem (secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo) aplicadas em cortes de carne bovina (acém).

Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral fosse atingido foi necessário:

a) Avaliar a influência na cinética de transferência de massa durante os processos de salga mista e úmida dos cortes de carne à pressão atmosférica, com aplicação de pulsos de vácuo, adição de diferentes ácidos orgânicos e substituição parcial de cloreto de sódio por cloreto de potássio;

b) Caracterizar as carnes bovinas salgadas obtidas pelas diferentes técnicas de salga em relação ao pH, a cor, a atividade de água e a capacidade de retenção de água (CRA);

c) Estudar a cinética de secagem das amostras de carne bovina salgadas com diferentes formulações de salmoura, nos processos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo;

d) Caracterizar as amostras de carnes salgadas e desidratadas elaboradas pelos diferentes processos de salga e métodos de secagem através dos seguintes parâmetros: pH, cor, a_w , umidade, porosidade,

CRA, capacidade de reidratação, propriedades mecânicas de textura e microestrutura;

e) Em um estudo complementar, avaliar a metodologia de dessalinização do charque comercial através da cinética de dessalga e a viabilidade da substituição parcial do sódio por potássio durante esse processo.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se organizado em seis capítulos de maneira que os conteúdos abordados tenham uma sequência lógica. Os capítulos 2, 3 e 4 correspondem à estratégia de investigação utilizada no desenvolvimento deste trabalho, conforme organograma apresentado na Figura A.1. Os conteúdos abordados foram divididos da seguinte forma:

Capítulo 1 – *Revisão da Literatura*. Neste capítulo são apresentados os principais assuntos que envolvem este trabalho, como a matéria-prima utilizada (carne bovina), produtos cárneos salgados, processos de salga, a substituição parcial de cloreto de sódio por outros sais e os processos de secagem.

Capítulo 2 – *Influência de diferentes técnicas de salga e da substituição de NaCl por KCl na cinética de transferência de massa em cortes de carne bovina*. Neste capítulo são descritos os dispositivos utilizados, as técnicas de salga e são apresentados os resultados obtidos de transferência de massa em relação à perda de água, ganho de sal, perda de massa e atividade de água.

Capítulo 3 – *Avaliação de Diferentes Métodos de Secagem de Carne Bovina Salgada*. Neste capítulo são apresentados os equipamentos, as técnicas de secagem (secagem convectiva, secagem a vácuo e secagem por micro-ondas a vácuo) utilizadas na desidratação de carne bovina salgada e os resultados obtidos de umidade e atividade de água com a integração dos processos de salga e secagem.

Capítulo 4 – *Desenvolvimento de uma metodologia para a obtenção de um charque dessalgado com baixo teor de sódio*. Neste capítulo são descritos dois métodos de dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl, para a obtenção de um charque dessalgado com baixo teor sódio. O primeiro método se baseia na dessalga convencional à pressão atmosférica e o segundo é associado a pulsos de vácuo. Os resultados são expressos através das cinéticas de concentração de cloreto de sódio e potássio no produto em função do tempo de processo.

Capítulo 5 – *Conclusões Finais e Propostas para Trabalhos Futuros.*

Capítulo 6 – *Referências Bibliográficas.* Neste capítulo são apresentadas as referências utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

Figura A 1 Organograma esquemático das estratégias de investigação utilizadas na parte experimental dos Capítulos 2, 3 e 4.

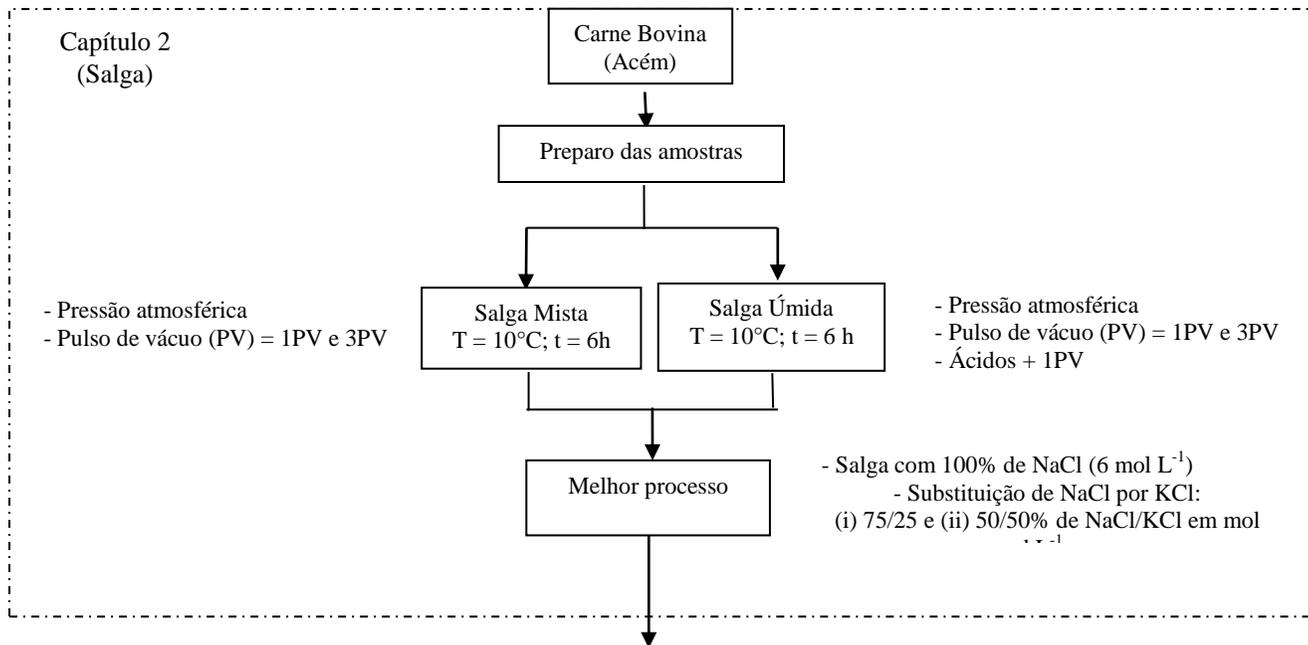
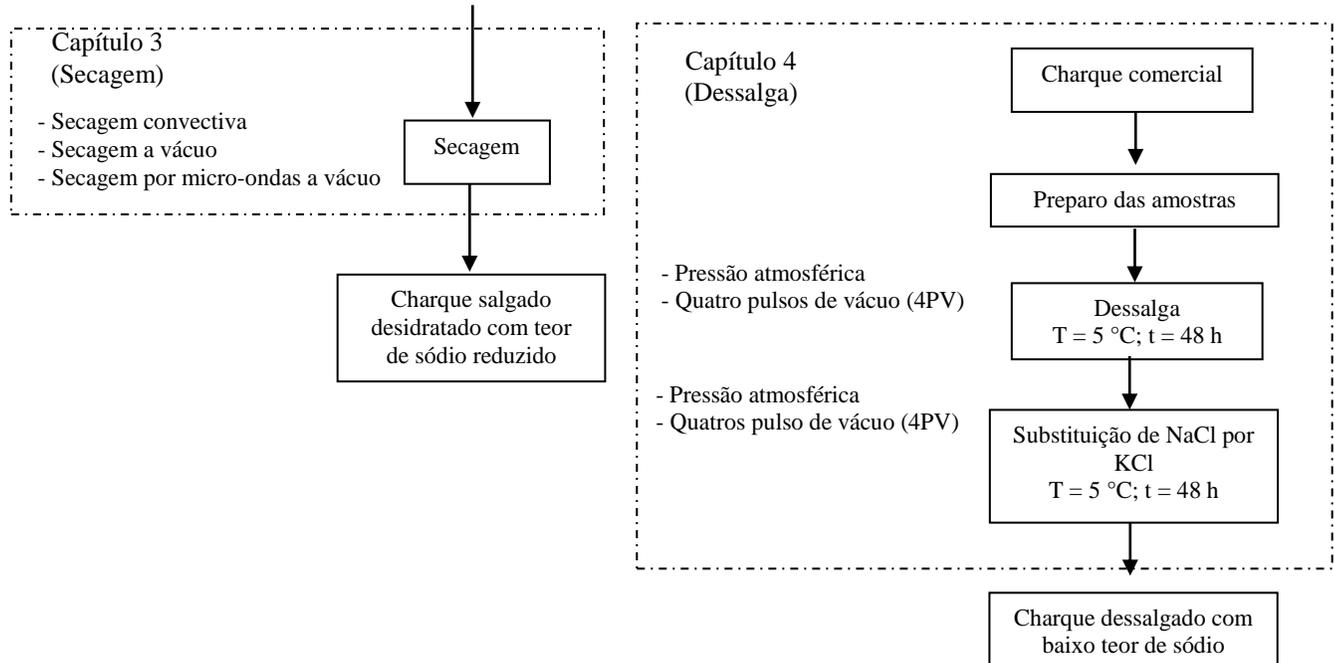


Figura A 2 Organograma esquemático das estratégias de investigação utilizadas na parte experimental dos Capítulos 2, 3 e 4 (continuação).



1 REVISÃO DA LITERATURA**1.1 Carne bovina – produção e consumo**

O Brasil é classificado como o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Os estados brasileiros com maior destaque na produção de carne bovina em 2014 foram: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo (ABIEC, 2014).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a produção brasileira de carne bovina em 2013 foi de 10,2 milhões de toneladas, sendo que 8,27% dessa produção foi destinada ao mercado interno, resultando em um consumo per capita de 41 kg/ano de carne bovina. As estimativas indicam um aumento de 2,0% ao ano no consumo de carne bovina no período de 2011/2012 a 2021/2022 (ABIEC, 2014).

Desde 2004, o Brasil lidera as exportações, sendo o responsável por um quinto da carne comercializada no mundo. Em 2013, o Brasil exportou dois milhões de toneladas de carne bovina. Desse total, 76,6% foram exportados *in natura* para 96 países, 12,7% em carne industrializada para 94 países e 10,7% em miúdos e outros derivados para 123 países (ABIEC, 2014). A cada ano, a participação brasileira no comércio internacional tem aumentado. A expectativa é que a produção nacional de carnes bovinas supra 45% do mercado mundial até 2020 (MAPA, 2013), devido ao aumento das exportações aos mercados emergentes como Egito, Irã e China (ABIEC, 2014).

1.2 Composição e Estrutura do Tecido Muscular

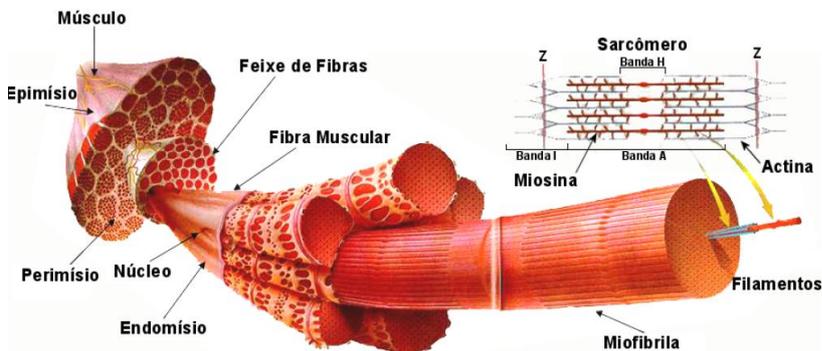
A composição da carne bovina pode variar em função de fatores como espécie, idade, sexo, alimentação e zona anatômica. Os componentes majoritários da carne são água (65 a 80%), proteína (16 a 22%), gordura (3 a 13%) e cinzas (1%). Também constam pequenas quantidades de outras substâncias nitrogenadas, não-protéicas (aminoácidos livres, peptídeos, nucleotídeos, creatina), carboidratos, ácido lático, minerais e vitaminas (Pereda et al., 2005, Damodaran et al., 2010).

O tecido muscular esquelético como um todo é recoberto por um tecido conjuntivo denominado de epimísio, cujo principal composto

é o colágeno (Pereda et al., 2005). Os feixes de fibras musculares são envoltos por uma camada grossa de tecido conjuntivo, chamada de perimísio. Este é constituído por septos de tecido conjuntivo que contém os vasos sanguíneos e os nervos. Cada fibra muscular também é recoberta por um tecido conjuntivo, denominado endomísio (Damodaran et al., 2010). Abaixo do endomísio encontra-se o sarcolema. As fibras musculares são compostas por miofibrilas e estas estão envolvidas por uma fase fluida, o sarcoplasma (Lawrie, 2005). As miofibrilas são dispostas em filamentos grossos (constituídos basicamente pela proteína miosina) e finos (compostos da proteína actina) formando as bandas que se apresentam alternadamente em faixas claras (isotrópicas) e escuras (anisotrópicas). A faixa clara é chamada de banda I (constituída de filamentos finos) e a escura como banda A (apresenta uma sobreposição de filamentos finos e grossos). Os filamentos grossos e finos são responsáveis pela contração muscular (Damodaran et al., 2010, Pereda et al., 2005). No centro da banda I, existe uma linha transversal chamada de disco ou linha Z e no centro da banda A há uma zona mais clara chamada de zona H. No centro da zona H há uma zona escura chamada de linha M. A linha M é formada por proteínas que mantêm o arranjo estrutural dos filamentos compactos de proteínas, servindo como ponto de sustentação para a proteína titina que se estende da linha M até o disco Z (Damodaran et al., 2010). A unidade fundamental da miofibrila é o sarcômero (unidade básica repetitiva) localizado entre duas linhas Z adjacentes (Pardi et al., 2001, Damodaran et al., 2010), onde ocorrem os ciclos de contração e relaxação muscular (Pereda et al., 2005). Uma representação esquemática do tecido muscular é apresentada na Figura 1.1

Figura 1.1 Representação esquemática da organização estrutural do músculo.

Fonte: Schmidt, 2010



As proteínas do músculo esquelético são classificadas de acordo com as suas funções biológicas ou com as suas solubilidades. As funções biológicas normalmente se referem às contribuições das proteínas em relação à estrutura do músculo, contração (actina e miosina) e metabolismo (amilase, maltase e pepsina) (Damodaran et al., 2010). Quanto à sua solubilidade, as proteínas podem ser classificadas em três grupos (Pereda et al., 2005):

(i) Solúveis em água ou em soluções salinas diluídas (proteínas sarcoplasmáticas). Essas são solúveis em baixa força iônica (0,3 mM) e representam aproximadamente 30% do teor de proteínas totais do músculo (Pardi et al., 2001, Damodaran et al., 2010);

(ii) Solúveis em soluções salinas concentradas (proteínas miofibrilares). Essas proteínas necessitam de altas concentrações de sais (>0,3 M de NaCl) para a sua solubilização e representam a maior porcentagem da proteína muscular (50 a 60%). A miosina e a actina, constituintes primários dos filamentos espessos e delgados representam 65% do total das proteínas miofibrilares e 40% da quantidade total de proteínas musculares (Pardi et al., 2001, Damodaran et al., 2010);

(iii) Insolúveis em condições normais de extração: próximas a pH neutro, baixa ou alta concentração salina e baixas temperaturas (proteínas do tecido conjuntivo). Essas proteínas constituem 10 a 20% do total das proteínas musculares. A proteína predominante deste grupo é o colágeno (Lawrie, 2005, Damodaran et al., 2010), o qual está relacionado com a maciez da carne (Chang et al., 2010).

1.3 Alterações bioquímicas pós-morte que afetam a qualidade da carne

Muitas propriedades físicas, como a cor, a textura e a firmeza da carne crua, assim como a suculência, a palatabilidade e a dureza quando cozida, dependem em parte da capacidade de retenção de água na carne, a qual está relacionada ao pH final (Pereda et al., 2005). Essas propriedades interferem diretamente na aceitação dos produtos pelo consumidor na hora da compra (Damodaran et al., 2010).

A menor capacidade de retenção de água (CRA) da maioria das proteínas musculares ocorre no ponto isoelétrico, em pH próximo de 5,2-5,3 (Roça, 2000). No ponto isoelétrico das proteínas as cargas (íons) positivas e negativas são praticamente iguais, o que implica que a soma dessas cargas é próxima de zero e as interações proteína-proteína são máximas e as interações proteína-água são mínimas. Isso resulta em uma aproximação máxima dos filamentos grossos e finos, fazendo com que o espaço entre eles diminua ou mesmo desapareça. Dessa forma, a ligação das proteínas com a água é prejudicada e a capacidade de retenção de água da mesma é reduzida (Damodaran et al., 2010; Roça, 2000). Juntamente com a água liberada/exsudada pelo produto são perdidas vitaminas, minerais, aminoácidos e outros nutrientes hidrossolúveis (Damodaran et al., 2010). Se o pH fica acima do ponto isoelétrico, as cargas positivas desaparecem e permanece um excesso de cargas negativas, que se repelem e afastam os filamentos (grossos e finos) da carne, assim criando mais espaço para as moléculas de água (Roça, 2000).

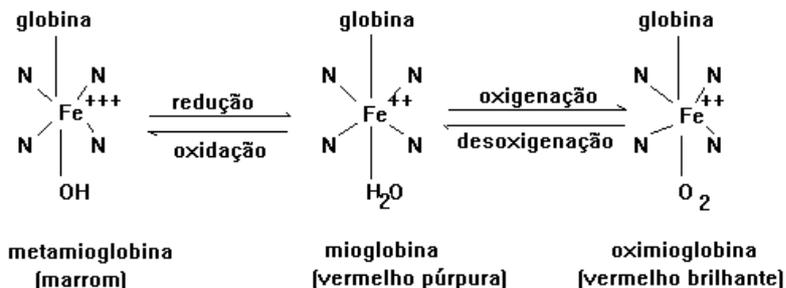
Após a maturação da carne, as características do tecido muscular diferem muito das encontradas no músculo vivo. O metabolismo pós-morte na carne vermelha faz com que ocorra um decréscimo no pH, do valor fisiológico próximo de 7,4 do tecido do músculo para um pH próximo de 5,5 a 5,9 (Damodaran et al., 2010). A taxa de diminuição o pH pode variar de 0,27 a 0,44 unidades/hora, dependendo da temperatura. A temperatura próxima de 40 °C acelera a queda do pH, devido o aumento da velocidade das reações químicas, enquanto as baixas temperaturas retardam o decréscimo do pH (Pereda et al., 2005).

Alguns fatores externos podem provocar alterações na cor da carne, como temperatura, carga microbiana, exposição à luz, pressão parcial de oxigênio, oxidação lipídica, contaminantes químicos e adição de agentes químicos (Carvalho e Manso, 2000). A intensidade da cor

‘vermelha’ da carne está diretamente relacionada com a quantidade total e o estado químico da mioglobina, sendo essa considerada o principal pigmento natural da carne (Gaya, 2006). A mioglobina é formada por uma porção protéica (apomioglobina e globina) e por um grupo prostético heme de natureza não-protéica (anel ou grupo heme e ferro portoporfirina IX). Através do estado químico do ferro, a mioglobina pode se apresentar na forma de mioglobina reduzida (Mb), oxigenada (oximioglobina - MbO₂) e oxidada (metamioglobina - MetMb). O estado químico da mioglobina depende da valência do íon ferro localizado no interior do grupo heme (anel de porfirina). A Figura 1.2 apresenta as reações entre os três estados químicos da mioglobina. Quando o íon ferro se encontra no estado reduzido (ferroso, Fe⁺²), ele pode se ligar a uma molécula de água ou de oxigênio molecular. Na ausência de oxigênio molecular o íon Fe⁺² combina-se com a água e a mioglobina torna-se desoximioglobina (mioglobina reduzida) e adquire uma coloração vermelho-escura (vermelho púrpura), de baixa luminosidade, comumente vista em produtos embalados a vácuo. No entanto, quando o íon Fe⁺² se liga ao oxigênio do ar, a mioglobina transforma-se em oximioglobina e a carne bovina adquire uma coloração atraente vermelho-cereja (vermelho brilhante) de maior luminosidade. Por outro lado, quando o íon ferro do grupo heme se oxida (estado férrico, Fe⁺³) sob baixa tensão de oxigênio, a mioglobina transforma-se em metamioglobina de cor marrom, indesejável do ponto de vista comercial (Felício, 1999).

Figura 1.2 Representação esquemática do estado químico da mioglobina relacionado com a cor da carne.

Fonte: Roça, 2000.



1.4 Produtos cárneos salgados

Em diversos países são encontrados produtos cárneos salgados e desidratados (secos ou dessecados), os quais são muito apreciados nas suas regiões de origem (Sousa et al., 2012). Esses são produzidos a partir de uma variedade de técnicas, como a salga, fermentação, secagem, cozimento, defumação e marinação, ou usando uma combinação dessas operações (Collignan et al., 2000). Dentre esses, podem ser citados o presunto salgado seco-curado e embutidos fermentados (Europa), *Kilishi* (Sahel), carne seca (África do Sul, Alemanha, Holanda, França, Espanha) e charque e carne de sol (Brasil) (Collignan et al., 2000).

Os principais produtos cárneos salgados e desidratados fabricados no Brasil são o charque, o *jerked beef* e a carne-de-sol (Alves, 2008). Esses produtos são normalmente confundidos entre si (Alves, 2008) e identificados pela maioria da população como carne seca (Facco, 2002). Essa confusão, provavelmente está associada às etapas de salga e secagem que é comum no processo de elaboração desses. A intensidade dessas etapas varia de acordo com o produto a ser fabricado e a estabilidade (vida útil) desejada (Souza, 2006).

Um aspecto interessante é que com acesso/disponibilidade ao sistema de refrigeração, os produtos cárneos salgados e desidratados tenderiam a desaparecer, pois se tratam de produtos salgados elaborados para fins de conservação (matéria-prima). No entanto, esses têm se mantido e conquistado o mercado consumidor (Felício, 2002; Arnau et al., 2007). Esses produtos são largamente consumidos como fonte de

proteína animal (Sabadini et al., 2001) e bastante apreciados pelo seu sabor e suas características sensoriais. O aroma característico da carne curada se deve à combinação de compostos, como aminoácidos livres, ácidos graxos livres, peróxidos, ácidos orgânicos solúveis em água e outros (Pereda et al., 2005).

O charque e o *jerked beef* se apresentam como uma alternativa interessante para a exportação, por possuírem teor de umidade intermediária, baixa atividade de água, vida útil maior que as carnes frescas e possibilitar o transporte e armazenamento à temperatura ambiente (Felício, 2002). Uma prova disso foi a autorização que o Brasil recebeu da União Europeia em 2013 para exportar produtos cárneos secos, fatiados, curados, condimentados e termoestáveis, como *jerked beef* e charque (Folhawebe, 2013).

Dependendo do tipo de produto e do processo de fabricação, a elaboração pode demorar de uma a duas semanas, até meses. Em relação ao tempo de processo, a secagem é uma etapa limitante. A otimização dessa etapa resultaria em uma redução das instalações de secagem e aumentaria a competitividade do produto, reduzindo algumas preocupações de segurança (Arnau et al., 2007), como o crescimento de bactérias halófilas, leveduras e fungos, devido ao longo tempo de secagem e a temperatura empregada que permite o crescimento desses mesmo em altas concentrações de sal (Furtado et al., 1991, Arnau et al., 2007).

1.4.1 Charque

O charque é definido pelo Ministério da Agricultura como: carne bovina salgada e dessecada, não devendo conter mais de 45% de umidade na porção muscular, nem mais de 15% de resíduo mineral fixo total, sendo tolerado até 5% de variação (RIISPOA, 1952). O charque, além de agregar valor aos cortes de carne bovina menos apreciada pelos consumidores, devido a sua dureza como dianteiro e ponta de agulha (Felício, 2002a), pode ser utilizado como uma fonte de proteína de origem animal em qualquer região do mundo desprovida de sistemas de refrigeração (Shimokomaki et al., 2006).

O consumo e a produção do charque fazem parte da cultura brasileira e ocupam um lugar de destaque entre os produtos industrializados derivados de carne (Gouvêa e Gouvêa, 2007; Souza et al., 2012). Normalmente, o charque é utilizado parcialmente dessalinizado, como um ingrediente no preparo de pratos típicos da

culinária brasileira (Shimokomaki et al., 1998). Apesar de ser um dos produtos cárneos salgados e desidratados industrializado mais consumido no país, não existe uma estatística segura sobre o consumo anual no Brasil, mas estima-se que seja de 600 mil toneladas. O seu processo de fabricação sofreu poucas alterações ao longo dos anos (Gouvêa e Gouvêa, 2007), sendo ainda bastante artesanal e demorado, envolvendo longas etapas de salga e secagem (Shimokomaki et al., 2006; Arnau et al., 2007).

1.4.2 Jerked beef

O Ministério da Agricultura define *jerked beef* ou carne bovina salgada curada dessecada como produto cárneo industrializado, obtido de carne bovina, adicionado de cloreto de sódio e sais de cura (nitrito e/ou nitrato de sódio e ou potássio), submetido a um processo de maturação e dessecação. Além disso, estabelece que o *jerked beef* deve ser embalado a vácuo e pode conter no máximo 55% de umidade, 18,3% de matéria mineral, 50 ppm de nitrito residual e atividade de água de 0,78 (Brasil, 2001). O *jerked beef* foi introduzido no mercado como um derivado do charque, uma versão tecnologicamente melhorada (Shimokomaki et al., 1998, Pinto et al., 2002), por utilizar ambiente climatizado de 12 a 15 °C durante a fabricação e pelo processo de salga ser feito por injeção da salmoura (Shimokomaki et al., 2006), porém também é seco ao sol (ambiente aberto). O *jerked beef* se difere do charque pelo processo de fabricação mais rápido, por conter nitrito de sódio na salmoura e ser comercializado embalado a vácuo (Shimokomaki et al., 1998, Pinto et al., 2002).

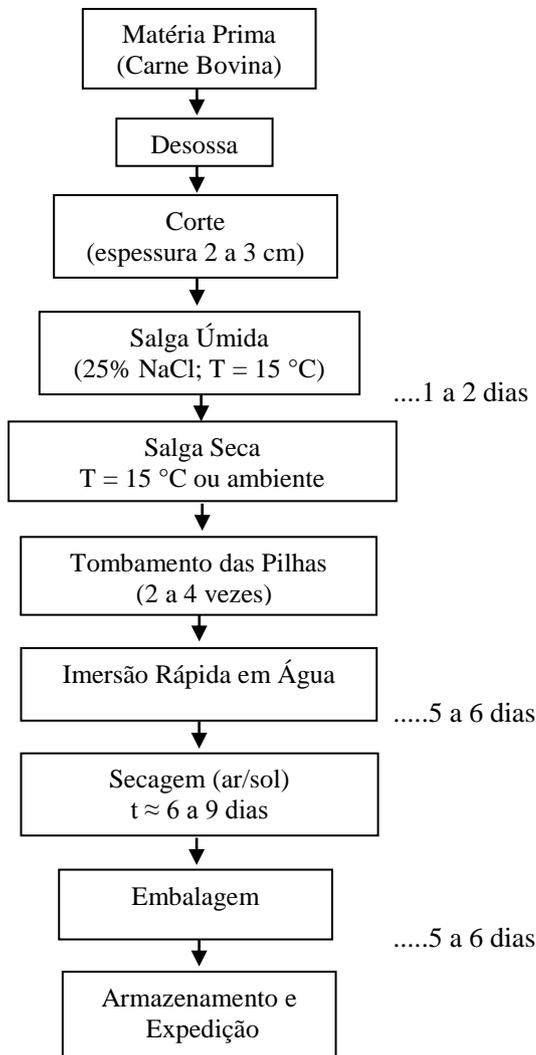
1.4.3 Carne de sol

A carne de sol é um produto salgado popular bastante apreciado, principalmente pela população nordestina, sendo elaborada através de um processo de salga rápida, seguida de secagem com exposição ao sol (Souza, 2006). Esse produto apresenta um teor de sal de aproximadamente 5% (g/100g) e menor vida útil (três a quatro dias a temperatura ambiente) que o charque (Alves, 2008), devido ao alto valor da atividade de água (0,92) e umidade (67,8%) (Shimokomaki et al., 2006). Não há um regulamento oficial para a comercialização e nem estatísticas da produção de carne de sol (Felício, 2002b; Shimokomaki et al., 2006).

1.4.4 Etapas de produção dos produtos cárneos salgados e desidratados

A maioria dos processos de fabricação dos produtos cárneos salgados e desidratados é baseada no conceito dos obstáculos de *Leistner* (barreira ao crescimento microbiano). O processo de salga, a adição de nitrito de sódio, o processo de secagem e as embalagens são utilizados sequencialmente para inibir o crescimento de microrganismos e a deterioração do produto (Shimokomaki et al., 1998). De um modo geral, as várias etapas que envolvem o processo de fabricação desses produtos, mais especificamente o processo de fabricação do charque, são apresentadas na Figura 1.3.

Figura 1.3 Fluxograma das etapas de produção do charque.
 Fonte: Sabadini et al., 1998 e Shimokomaki et al., 1998.



No processo de fabricação do charque, após o recebimento da matéria-prima (carne), esta é desossada e cortada (manteada), para reduzir a espessura à 2-3 cm. Depois é realizada a salga úmida a 15 °C em tanques com agitação constante por 30 a 50 minutos (Sabadini et al.,

2001; Pacheco e Yamanaka, 2006). A finalidade desse procedimento é possibilitar o contato de todas as porções de carne com a salmoura (Lira e Shimokomaki, 1998). Em seguida é realizada a salga seca, na qual os cortes de carne são empilhados em camadas, intercaladas com camada de sal, e mantidos por 12 a 48 horas. Após esse período é realizado o tombamento, onde é feita a inversão dos cortes, a parte inferior do corte fica voltada para cima e a parte superior da pilha ocupa a posição inferior na nova pilha. O tombamento é realizado com o objetivo de submeter todos os cortes a uma pressão equivalente e uniformizar a umidade e a concentração de sal no interior das peças de carne. Antes dos cortes serem submetidos à secagem, é feita a lavagem para a retirada do excesso de sal. Após a lavagem, os cortes são secos ao sol ou em estufas com circulação de ar e controle de temperatura, ou através da combinação dos dois sistemas de secagem (Sabadini et al., 2001; Pacheco e Yamanaka, 2006). A obtenção do produto final, dependendo da técnica utilizada pode demorar até 28 dias. Só a etapa de secagem do charque pode demorar mais de seis dias (Gouvea e Gouvea, 2007). Como mencionado anteriormente, os produtos cárneos salgados e desidratados se diferenciam pelo processamento, matérias-primas, composição química e vida útil (Alves, 2008). Algumas dessas diferenças e outras características do charque, *jerked beef* e da carne-de-sol são apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Diferenças tecnológicas de processo, matéria prima, composição química e vida útil entre carne-de-sol, charque e *jerked beef*.

Fonte: Shimokomaki et al, 2006 e Alves, 2008.

Características	Charque	<i>Jerked beef</i>	Carne-de-sol
Teor de Sal	15 - 20%	15 - 20%	5 - 6%
Umidade	45 - 50%	45 - 50%	64 - 70%
a_w	0,70 - 0,80	0,70 - 0,80	0,92
Fermentado	Sim	Sim	Não
Embalagem	Presente com/sem vácuo	Presente com Vácuo	Ausente
Aditivos	Ausente	Nitrito de sódio	Ausente
Matéria-prima	Ponta de agulha, acém e pescoço (dianteiro)	Ponta de agulha (Melhor qualidade)	Patinho, coxão mole e duro, alcatra (cortes nobres)
Processamento	Industrial	Industrial	Típico regional
Vida útil	4 - 6 meses (21 - 31 °C)	6 meses (21 - 31 °C)	3 a 4 dias (21 a 31 °C) e 8 dias (5 °C)

O charque e o *jerked beef* são classificados como produtos cárneos de umidade intermediária (Shimokomaki et al., 1998) e de alto teor de sal, enquanto que a carne de sol não pode ser classificada como um produto de umidade intermediária por apresentar altos valores de atividade de água (Shimokomaki et al., 2006). Essa ainda é classificada como um produto de alto teor de sal por necessitar de um rápido processo de dessalga antes do consumo (Felício et al., 2002b).

As técnicas culinárias de dessalga empregadas apresentam alguns inconvenientes, como o tempo gasto para dessalgar o produto, a remoção incompleta do sal e as alterações na composição química do charque (sobre os lipídeos e as frações proteicas), que leva a perdas

nutritivas (Correia e Biscontini, 2003) dependendo da técnica empregada. Além disso, há a possibilidade da contaminação microbiológica (durante a manipulação), devido à redução do teor de sal e o aumento da atividade de água e umidade do produto (Correia e Biscontini, 2003; Carvalho, 2012). Vasconcelos et al. (2010) consideraram a técnica padrão de dessalga, a descrita na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA/UNICAMP, 2011), em que o charque é deixado de molho sob refrigeração por 12 horas e a água de dessalga é trocada a cada 3 horas. Os autores, ainda relatam que a técnica de dessalga mais utilizada pela população é aquela em que o charque é submetido à fervura, seguido ou não de lavagem antes do preparo. A segunda técnica é a de escalda, em que é despejada água fervente sobre o produto, seguido de lavagem.

1.5 Substituição parcial do cloreto de sódio

O cloreto de sódio é o principal ingrediente utilizado tanto nos processos de salga quanto de marinação ácida (Aliño et al., 2009; Aliño et al., 2010b; Barat et al.; 2011). A ingestão excessiva de sódio tem sido associada a doenças crônicas, tais como: hipertensão, doenças cardiovasculares, acidente vascular cerebral e doenças renais, problema estes considerados típicos de uma sociedade moderna (Barat et al., 2012; Anvisa, 2014).

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a população brasileira consome aproximadamente 12 gramas de sal por dia, mais do que o dobro recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de até 5 gramas diárias para a população em geral (Anvisa, 2014). Para reduzir o consumo de sódio e conseqüentemente os casos de doenças relacionadas à sua alta ingestão, em 2011 a Anvisa, juntamente com o Ministério da Saúde (MS) e representantes da indústria alimentícia, assinaram um acordo que prevê a redução gradual do teor de sódio em sete categorias de alimentos. Em 2012, o acordo foi ampliado, incluindo mais nove categorias de alimentos. A redução do sódio, nas 16 categorias de alimentos, deve ser cumprida pelo setor produtivo até 2014 (Anvisa, 2014). Essas reduções devem ser de 2,5% para o pão francês, 7,5 a 8,0% em bolos prontos, 7,5 a 19,5% para biscoitos, 9,5% para maionese, entre outros (Anvisa, 2014).

Os produtos cárneos e seus derivados processados têm sido citados com frequência entre os principais responsáveis pela ingestão de

sódio. Esses produtos são responsáveis por aproximadamente 20,8% da ingestão, o que corresponde a 0,54 g de sódio ou a 1,38 g de sal por dia. Assim, um grande desafio para as indústrias cárneas atualmente é o desenvolvimento de produtos que atendam a demanda de redução de sódio e satisfaçam as exigências dos consumidores (Nascimento et al., 2007), que em função do estilo de vida atual, buscam alimentos seguros, de preparo rápido, com vida útil estendida, apresentem valor nutricional e boas características sensoriais, além de baixo custo (Giménez et al., 2012). Isso tem incentivado a pesquisa/estudo para o desenvolvimento de processos mais rápidos e produtos seguros, de forma que não representem um risco para a saúde humana (Albarracín et al., 2011).

A redução do sódio pode ser feita não apenas pela diminuição do conteúdo de sal total, mas também pela substituição parcial de cloreto de sódio por outros sais de cloreto, como cloreto de potássio (KCl), cloreto de cálcio (CaCl_2) e cloreto de magnésio (MgCl_2), ou sais não-cloretos como os fosfatos, ou mesmo uma combinação de ambos (Aliño et al., 2010a). Esses sais, além de promoverem a percepção do gosto salgado, conferem gosto amargo indesejável e em menor extensão sensação adstringente, metálica e irritante (Lawless et al. 2003). No entanto, devem-se buscar maneiras de manter o sabor salgado tradicionalmente associado às carnes processadas, sem a introdução de sabores não tradicionais, que são frequentemente associados com uma diminuição da aceitação do consumidor (McGough et al., 2012). A substituição do sódio deve ser feita em proporções que não afete o sabor salgado, a oxidação lipídica e a capacidade de retenção da água do produto (Albarracín et al., 2011).

A crescente preocupação com a redução na ingestão de sódio tem impulsionado o estudo da substituição parcial do cloreto de sódio por outros sais em produtos como presunto cru, carne suína e peixes (Barat et al.; 2011; Aliño et al., 2010a; Aliño et al.; 2009). Dentre os sais estudados para a substituição do NaCl, o KCl tem se apresentado como a melhor opção, por apresentar propriedades físicas semelhantes ao cloreto de sódio e ser reconhecido como seguro, podendo ser usado na sua substituição sem perda da funcionalidade (Bona et al., 2005; Nascimento et al., 2007). Além de apresentar os melhores resultados em relação às propriedades físico-químicas e sensoriais quando comparado aos produtos obtidos somente com NaCl (Nascimento et al., 2007; Aliño et al., 2009) . Segundo Van der Klaauw e Smith (1995), citado por Rocha (2010), o KCl apresenta um poder de salga inferior, porém bastante comparável ao NaCl.

O KCl também apresenta um efeito diurético que aumenta a excreção dos íons sódio e reduz a excreção de cálcio pelos rins, protegendo a massa esquelética e evitando a desmineralização dos ossos. Além disso, o aumento da ingestão do potássio pode diminuir ligeiramente a pressão arterial (Bona et al., 2005; Aliño et al., 2011). No entanto, a utilização de KCl é limitada principalmente por apresentar sabor amargo e adstringente (Aliño, et al., 2011). Nascimento et al. (2011) relatam que o nível de 1% é o limite máximo de adição de KCl em produtos cárneos para evitar o sabor amargo.

Nascimento et al. (2007) avaliaram a influência da substituição de cloreto de sódio por cloreto de potássio sobre as características físico-químicas e sensoriais em salsichas elaboradas com: i) 100% de NaCl, ii) 75% NaCl/25% KCl, iii) 62,5% NaCl/37,5% KCl e iv) 50% NaCl/50% KCl. Os autores relatam que a formulação com 75% de NaCl e 25% de KCl apresentou os melhores resultados em relação às qualidades físico-química e sensorial do produto, quando comparada com a amostra obtida pela formulação com 100% de NaCl.

Aliño et al. (2009) estudaram a influência da substituição de NaCl por KCl nas propriedades físico-químicas do lombo seco curado e observaram que é possível reduzir 50% do NaCl utilizando KCl, obtendo um produto com características físico-químicas semelhantes às do produto comercial.

Aliño et al. (2010b) estudaram a etapa de pós-salga do presunto salgado seco-curado com soluções de NaCl, KCl, CaCl₂ e MgCl₂. Os autores observaram que a substituição parcial do NaCl pelo KCl no produto resultou em um aumento no tempo de pós-salga de 32% e a combinação de NaCl com KCl, CaCl₂ e MgCl₂ resultou em um aumento de 52% no tempo para atingir a mesma atividade de água em comparação com o produto tradicional, submetido à salga com solução de 100% NaCl.

Barat et al. (2011) estudaram a cinética de salga em carne de porco, utilizando duas formulações uma contendo 100% de NaCl e a outra com 50% NaCl e 50% KCl. Os autores relatam que o coeficiente de difusão encontrado para os íons de potássio foi superior aos dos íons de sódio.

Armenteros et al. (2012) avaliaram a influência na análise sensorial de três formulações de salga na elaboração de presunto salgado seco-curado: (i) saturada com 100% de NaCl; (ii) 50% de NaCl 50% de KCl e (iii) 55% de NaCl, 25% de KCl, 15% de CaCl₂ e MgCl₂. Os autores observaram que as amostras de presunto salgadas contendo

CaCl_2 e MgCl_2 apresentaram os menores valores na avaliação dos atributos sensoriais, enquanto que as amostras com NaCl e KCl apresentaram valores semelhantes à amostra controle (com 100% de NaCl).

A substituição parcial suscita uma série de questões quando se utiliza uma mistura de diferentes sais, como a possível redução do sabor salgado no produto, o gosto amargo e adstringente, as cores e texturas anômalas, a ação dos diferentes cátions durante o processo de secagem, a quantidade de sal necessária para se obter um produto seguro microbiologicamente, o tempo de salga necessário e a taxa de transferência dos sais no interior do produto (Aliño et al., 2010b). Apesar de vários estudos realizados para examinar a redução e substituição de sódio em carnes processadas, ainda existe uma necessidade de desenvolver novas abordagens para reduzir o sódio sem sacrificar a qualidade e a segurança do produto (McGough et al., 2012). O uso de misturas de sais com baixo teor de sódio também pode implicar em alterações significativas nas diferentes etapas seguintes ao processo de salga, como secagem, armazenamento e vida útil (Aliño et al., 2010b; Barat et al., 2011). Isso aumenta a importância da combinação de processos para a produção de produtos estáveis microbiologicamente, semi-prontos para o consumo e com baixo teor de sal (Bros et al., 2012).

1.6 Processos de conservação

A maioria das técnicas utilizadas na conservação de alimentos envolve a inibição do crescimento microbiano. Entre elas podem ser citadas: (i) a redução da atividade da água através da salga, desidratação osmótica e secagem; (ii) o uso de temperaturas (altas ou baixas) aplicadas em tratamentos térmicos ou em processos de resfriamento e congelamento; (iii) a acidificação ou redução do pH, por fermentação ou adição de ácidos orgânicos (ex: marinação ácida); (iv) a redução do potencial redox com uso de conservantes químicos como nitrito, nitrato e sulfitos; (v) a inibição pela adição de microrganismos competitivos como bactérias lácticas e (vi) embalagens com atmosfera modificada, como uso de vácuo, dióxido de carbono, oxigênio e nitrogênio (Albarracín et al., 2011).

1.6.1 Processos de salga

O processo de salga é um dos métodos de conservação mais antigos e ainda vem sendo amplamente utilizado pelas indústrias no processamento de produtos cárneos (Barat et al., 2011; Albarracín et al., 2011). As técnicas mais comuns de salga em produtos cárneos elaborados tanto por processos artesanais quanto industriais são a salga seca, úmida e mista, esta consiste na combinação da salga úmida e seca (Pereda et al., 2005; Gava et al., 2008).

A presença do sal na carne, além de influenciar a capacidade de retenção de água, a cor, a textura e o sabor, atua como um conservante, devido à sua capacidade de reduzir os valores de atividade de água (Aliño et al., 2009; Barat et al., 2011; Albarracín et al., 2011). O sal interage com a água através de ligações iônicas e dipolares, reduzindo a quantidade de água disponível no alimento, o que pode retardar ou até mesmo interromper o crescimento e os processos microbianos vitais. Deste modo, o sal atua na estabilidade e no aumento da vida útil do produto em relação aos produtos frescos (Thiagarajan, 2008; Aliño et al., 2009; Albarracín et al., 2011). A concentração de 5% de NaCl inibe o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, porém não tem efeito sobre os microrganismos aeróbios (ex.: micrococcos) e anaeróbios facultativos (ex.: estafilococos). A concentração de 10% de NaCl inibe o crescimento da maioria das bactérias. Porém, algumas bactérias halotolerantes ainda podem crescer em meios de até 15% de NaCl (Pereda et al., 2005).

O sal utilizado no processo de salga pode atuar como um pró-oxidante, acelerando a reação de oxidação nos produtos cárneos (Facco et al., 2009). Torres et al. (1989) estudaram o grau de oxidação lipídica do charque durante o armazenamento e observaram que quando utilizado sal refinado ou sal contendo agentes antioxidantes a oxidação pôde ser reduzida, quando comparado à utilização de sal grosso no mesmo processo.

1.6.1.1 Salga Seca

A salga seca consiste no contato direto do sal com a matéria-prima, onde o sal é depositado na superfície do alimento, assim favorecendo a desidratação (Gava et al., 2008). Os alimentos que contém teores de gordura em sua composição, como a carne, são mais

susceptíveis a oxidação lipídica na salga seca do que na salga úmida, devido a maior exposição/contato do produto ao oxigênio.

No processo de fabricação do charque a salga seca consiste na formação de pilhas, compostas de camadas de cortes de carne (cortes ou mantas de carne com espessura de 3 a 5 cm) intercalados por camadas de sal (≈ 5 mm de espessura), até uma altura de aproximadamente 1,80 m para evitar maior perda de peso (Sabadini et al., 2001; Pacheco e Yamanaka, 2006; Gouvea e Gouvea, 2007). As pilhas são formadas/montadas sobre piso inclinado com canaletas para a drenagem da água exsudada dos cortes de carne. Essas são iniciadas por uma camada de sal seguida de uma camada de carne, sendo a última camada também formada de sal (Pardi et al., 1996). Geralmente, a porção gordurosa dos cortes da primeira camada fica voltada para cima e na segunda camada a porção gordurosa fica voltada para baixo e assim sucessivamente (Sabadini et al., 2001; Pacheco e Yamanaka, 2006).

1.6.1.2 Salga úmida - Tratamento osmótico

A salga úmida consiste na imersão dos alimentos em soluções que contêm agentes osmóticos (sais, açúcares, fosfatos e ácidos, entre outros) dissolvidos (Pardi et al., 1995; Pereda et al., 2005), também denominado como tratamento osmótico. Esse apresenta algumas vantagens em relação à salga seca e mista, como a redução da oxidação lipídica devido a menor concentração de oxigênio disponível e o melhor controle da concentração do sal na salmoura e conseqüentemente no produto. As soluções salinas também podem ser regeneradas através do processo de filtração sob pressão para a remoção de microrganismos que se acumulam gradualmente, assim permitindo uma economia substancial nos custos (Lawrie, 2005).

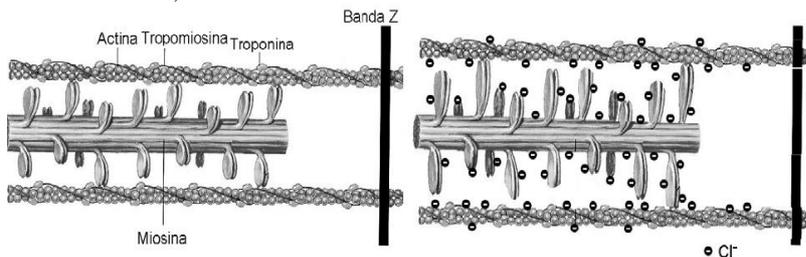
Os cortes de carne quando são submetidos aos tratamentos osmóticos em soluções aquosas contendo cloreto de sódio como agente osmótico, podem ganhar ou perder água, dependendo da concentração salina, da temperatura e do pH do sistema (Pardi et al., 1995; Pereda et al., 2005). Os tratamentos osmóticos podem ser classificados como processos de hidratação e de desidratação osmótica, em função do ganho e da perda de água (Schmidt, 2006). Esse comportamento foi observado por Graiver et al. (2006) em amostras de carne suína. Os autores relataram que as amostras quando imersas em soluções salinas nas concentrações de 5 a 200 g L⁻¹ de NaCl ganharam água e nas

concentrações de 300 g L^{-1} perderam água. Esses autores ainda observaram que entre as concentrações de 70 e 100 g L^{-1} de NaCl foi onde ocorreu o maior ganho de água pelas amostras e acima desses valores de concentrações ocorreu uma diminuição gradativa no ganho de água pelas amostras.

A hidratação da carne em baixas concentrações de sal ($0,1$ a $0,6 \text{ M}$ de NaCl) ocorre devido às ligações dos íons cloreto (Cl^-) com as proteínas musculares (filamentos de actina e miosina). Isso aumenta as cargas negativas das proteínas (filamentos) em pH acima do ponto isoelétrico e provoca um aumento das forças de repulsão entre os filamentos e conseqüentemente o inchamento da miofibrila. Assim, permitindo maior impregnação de água na estrutura da proteína (Albaracin et al., 2011). Uma representação esquemática da disposição das proteínas actina e miosina e do afastamento dos filamentos causada pelos íons cloreto é apresentada na Figura 1.4.

Figura 1.4 Representação do complexo de proteínas miofibrilares e a expansão dos filamentos de actina e miosina pelos íons cloretos.

Fonte: Schmidt, 2006.



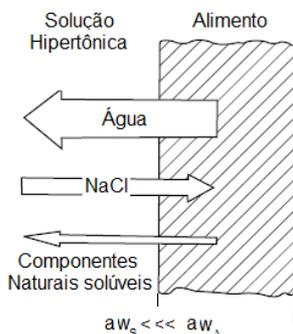
Por outro lado, o processo de desidratação osmótica é utilizado para remoção parcial da água presente no alimento e ao mesmo tempo para a impregnação de soluto, podendo ser realizado através da imersão do alimento em soluções com altas concentrações de agentes osmóticos e baixa atividade de água (Pardi et al., 1995; Schmidt, 2006). Esse processo é empregado para a produção de alimentos com umidade intermediária e como um pré-tratamento antes dos processos de secagem, pasteurização, congelamento e liofilização. A redução da atividade de água a baixas temperaturas durante a desidratação osmótica reduz o tempo de secagem e a necessidade energética nas etapas seguintes (Azuara et al., 1992; Mercali et al., 2010; Albarracín et al., 2011).

Na desidratação osmótica a carne é submetida a concentrações elevadas de NaCl ($> 0,6$ M) e pH abaixo do ponto isoelétrico. Nessas condições pode ocorrer a dissociação dos filamentos da miosina e o ponto isoelétrico da miosina mudar para um pH mais baixo. Assim, a carga positiva da proteína ($-\text{NH}_3^+$) é neutralizada por íons Cl^- . Em consequência disso ocorre uma diminuição da carga positiva da proteína e uma redução das forças de repulsão eletrostática. Assim, resultando na redução dos espaços entre os filamentos e na perda de água, com consequente retração do volume das fibras (Damodaran et al., 2010; Albaracin et al., 2011). Em soluções salinas com altas concentrações de NaCl a solubilidade das proteínas decresce devido à desidratação das mesmas, causada pelo efeito *salting-out* e pode ocorrer a perda destas para a solução (Pereda et al., 2005). Durante o processo de desidratação osmótica em soluções salinas, pode ocorrer um fluxo de sólidos solúveis naturais do alimento para a solução. Esse fluxo se deve à solubilidade de algumas proteínas (como mencionado acima), vitaminas e minerais, que são eliminados com a saída da água do produto, conforme ilustrado na Figura 1.5 (Pereda et al., 2005; Mujumdar, 2006; Damodaran et al., 2010).

A taxa de remoção de água e de transferência do soluto diminuem conforme as concentrações do soluto no meio e na matriz do alimento se aproximam das concentrações de equilíbrio. Essas variáveis, assim como o tempo para atingir o equilíbrio do processo, são influenciadas por diversos parâmetros, sendo estes: concentração do soluto na solução osmótica, tipo de solução, tempo de imersão do produto, temperatura da solução, proporção da solução osmótica em relação ao alimento, área de superfície exposta, agitação e pressão do sistema (Albaracín et al., 2011; Borin et al., 2008).

Figura 1.5 Transferência de massa na desidratação osmótica.

Fonte: Adaptado de Mujumdar, 2006.



Os tratamentos osmóticos com adição de ácidos, como vinagre, vinho ou ácidos fracos (ácido acético, ácido cítrico e ácido láctico) muitas vezes são identificados/denominados como marinação ácida (Chang et al. 2010; Capaccioni et al., 2011). Em geral nas indústrias alimentícias a marinação ácida é realizada através da adição de ácidos fracos combinada com NaCl (Goli et al., 2011).

A marinação ácida conserva as carnes através da ação simultânea do sal e do ácido, envolvendo um aumento da força iônica e um decréscimo no pH, retardando a ação de bactérias e enzimas. O aumento da maciez da carne pode ocorrer de forma direta através do enfraquecimento físico das estruturas musculares, devido ao inchaço das miofibrilas ao longo do seu eixo principal e o enfraquecimento direto do tecido conjuntivo perimisial, ou indiretamente através da ativação da proteólise pela liberação das catepsinas pelos lisossomos. De maneira geral, esses fenômenos diminuem a resistência mecânica das carnes (Chang et al., 2010).

Em comparação com outros métodos de conservação, a manipulação do pH é o menos complicado em termos de custo e de equipamento (Thiagarajan, 2008) e pode ser facilmente utilizado na conservação de alimentos (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000). O pH é um dos principais parâmetros de controle na estabilidade microbiana em produtos alimentícios que são acidificados ou fermentados (Thiagarajan, 2008). A vantagem da diminuição do pH na conservação de alimentos, combinada com o processo de salga, é a diminuição da atividade de água que limita o desenvolvimento das bactérias e reduz a resistência térmica das mesmas, potencializando os efeitos antimicrobianos (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000). A diminuição do pH na carne resulta em menor capacidade de retenção de água, devido à desnaturação e à perda da solubilidade (perda das cargas negativas) das proteínas musculares (Roça, 2000).

No caso especial da marinação ácida com elevada concentração de NaCl há poucos dados sobre variações de massa e transferência de soluto e água. A falta de conhecimento sobre a dinâmica de transferência e a reatividade das substâncias com a capacidade tampouante dificulta a previsão das mudanças do pH da carne, composição e qualidade durante o processo de marinação ácida (Goli et al., 2011).

Na literatura foram encontrados trabalhos que avaliaram a influência do processo de marinação ácida nas propriedades sensoriais, na textura e nas reações químicas em carne. Aktas e Kaya (2001)

estudaram a influência da marinação com ácido cítrico e ácido láctico nas propriedades sensoriais da carne e observaram que acima de 1% (g de ácido 100 g⁻¹ de solução) de ácido na solução, a carne foi caracterizada pelos provadores como ácida.

Chang et al. (2010) estudaram a influência dos ácidos orgânicos fracos (láctico, acético e cítrico) a 1,5% e NaCl a 2%, sobre o colágeno e as propriedades de textura da carne bovina ao final de 24 horas de marinação. Os autores relatam que o processo de marinação com ácidos fracos e NaCl resulta em maior desnaturação do colágeno em comparação a amostra de controle (carne *in natura*). Além disso, os autores observaram que as amostras marinadas com NaCl e ácido cítrico apresentaram maior resistência mecânica em relação aos demais tratamentos com ácido. Os mesmos comentam que, apesar de haver várias pesquisas com carnes marinadas, existem poucos dados sobre a influência dos ácidos orgânicos fracos e soluções de NaCl sobre a textura da carne bovina.

Toomik et al. (2012) investigaram o processo de marinação de carne suína com diferentes concentrações de ácido acético, láctico e cítrico e com concentração de 2% de NaCl, avaliando a oxidação de ácidos graxos livres poli-insaturados. Os autores relatam que a maior oxidação ocorreu quando as amostras foram submetidas ao processo de marinação utilizando ácido acético e láctico. No processo de marinação com ácido cítrico, a oxidação foi muito menor.

1.6.1.2.1 Relação de equilíbrio no tratamento osmótico de alimentos

O processo de desidratação osmótica é amplamente aplicado a frutas, vegetais, carnes e peixes (Raoult-Wack, 1994). Conforme mencionado anteriormente, ocorrem dois fluxos principais de trocas de massa em contracorrente, saída da água do produto e migração simultânea do soluto da solução para o produto (Albarracín et al., 2011). As trocas de massa são impulsionadas pela diferença de potencial químico (μ) entre a solução osmótica e o alimento (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000; Chiralt e Fito, 2003; Mercali et al., 2010). Essa diferença de potencial químico está relacionada com os gradientes de concentração entre o produto e a solução osmótica externa, com os gradientes de pressão e com as forças capilares e de atração. Quando os potenciais químicos de cada componente forem iguais, tanto no alimento quanto na solução osmótica, o equilíbrio termodinâmico do

sistema (alimento-solução) será atingido (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000). Para a água, o equilíbrio será atingido quando os potenciais químicos da água na fase líquida do produto (FLP) e na solução osmótica forem iguais, conforme Equação 1.1 (Schmidt, 2006).

$$\mu_w|_{FLP} = \mu_w|_{Solução} \quad (1.1)$$

onde o potencial químico da água (μ_w) na fase líquida de um meio poroso, a uma dada temperatura, pode ser expresso pela soma das contribuições do potencial associado com a presença de solutos (potencial osmótico), do potencial de pressão e do potencial matricial do meio (o qual envolve a interação da água com a matriz através de forças capilares, forças de sorção e elétricas), conforme Equação 1.2 (Schmidt, 2006).

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_w + \bar{V}p + \bar{V}\psi \quad (1.2)$$

em que μ_i é o potencial químico da água, μ_i^0 é o potencial químico de referência (estado padrão), R a constante de gases ideais, T a temperatura absoluta, a_w é a atividade de água, \bar{V} é o volume parcial molar da água, p é a pressão e ψ é o potencial matricial do alimento. Para o tratamento à pressão atmosférica não há gradientes de pressão e o potencial matricial do alimento (ψ) é função das forças de atração (água-proteína) e da capilaridade.

Nos últimos anos, durante o processo de salga têm sido empregadas pressões de 50 a 100 mbar (vácuo) para aumentar a transferência de massa (água e sal) (Albarracín et al., 2011). Em pressões subatmosféricas pode-se promover uma desidratação osmótica mais rápida e ao mesmo tempo compostos ativos, tais como ácidos, conservantes, depressores de atividade de água ou agentes de textura, podem ser impregnados nos alimentos, de forma controlada e diretamente no interior da estrutura do produto (Fito e Pastor, 1994). A impregnação a vácuo tem se apresentado como uma alternativa interessante para os processos de salga de grandes peças alimentícias (tais como carnes e queijos), os quais geralmente são lentos, agravados pelos baixos valores da difusividade do sal para as baixas temperaturas,

necessárias para garantir a segurança do alimento durante o processo (Chiralt et al., 2001).

1.6.1.3 Impregnação a vácuo de alimentos porosos

O processo de impregnação a vácuo (IV) aplicado durante o processo de salga úmida tem sido investigado com o objetivo de reduzir o tempo de salga e obter uma concentração de sal mais homogênea no produto final (Schmidt et al., 2008a; Albarracín et al., 2011). Fito (1994) propôs um modelo físico, denominado de Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), para descrever o processo de impregnação a vácuo, considerando os alimentos sólidos como uma estrutura porosa (meio poroso) e os poros que compõem essa estrutura como cilindros ideais preenchidos por líquidos e/ou gases (Albarracín et al., 2011; Fito, 1994). O modelo do HDM considera a pressão capilar e o gradiente macroscópico de pressão, imposto ao sistema durante as etapas de aplicação do vácuo e recuperação da pressão atmosférica, como as forças motrizes do processo (Fito e Pastor, 1994).

Em complemento ao HDM, Fito et al. (1996) demonstraram que pode ocorrer juntamente com o HDM, fenômenos de deformação e relaxação na estrutura porosa dos alimentos durante a IV. Os autores apresentam um modelo de deformação-relaxação (DRP), para corrigir as deformações dos poros durante a aplicação do vácuo e à relaxação dos mesmos durante o restabelecimento da pressão atmosférica. De modo geral, a IV consiste em promover o contato do alimento sólido com uma solução contendo soluto ou solutos a serem impregnados a pressões subatmosféricas (Fito et al., 1996; Chiralt et al., 2001; Fito et al., 2001). Os gases e ou líquidos nativos presentes no interior dos poros são removidos e substituídos pela solução externa, devido ao HDM (Fito et al., 2001).

No processamento de alimentos, após a imersão do produto em solução, o processo de IV pode ser descrito em duas etapas. Na primeira etapa de IV o sistema (alimento + solução) é submetido a uma pressão subatmosférica (P_1 pressão de vácuo de 50 -100 mbar) por um determinado período de tempo (t_1) em tanque fechado. Durante esse período, o gás ocluso nos poros se expande, drenando parte do líquido nativo presente no interior dos poros, até o equilíbrio com a pressão imposta ao sistema. Isso resulta em uma degaseificação da estrutura porosa do alimento e, com alguma extensão dos poros (deformação). A

intensidade da degaseificação dos poros está diretamente relacionada com o nível do vácuo aplicado (Fito et al., 2001). No momento que o equilíbrio das pressões do sistema é alcançado, uma quantidade de líquido penetra nos poros devido à ação das forças capilares (Fito et al., 1996). Na segunda etapa, a pressão atmosférica (P_2) é restabelecida no sistema durante um tempo (t_2). O gás residual presente no interior do poro é comprimido pela impregnação imediata da solução externa para o interior dos poros, devido aos gradientes macroscópicos de pressão. A intensidade da impregnação da solução para o interior do poro é função do nível de degaseificação obtido anteriormente. O processo de compressão também pode reduzir o tamanho dos poros de acordo com a resistência mecânica da estrutura porosa do alimento (Fito et al., 2001).

Em alimentos com características elásticas, os fenômenos de deformação e de relaxamento da estrutura sólida também influenciam significativamente o processo de troca de matéria entre o mesmo e a solução (Fito e Pastor 1994; Hofmeister et al., 2005a). Esse fenômeno implica em uma alteração rápida na composição do produto, ao mesmo tempo em que o produto modifica o seu comportamento de transferência de massa (Chafer et al., 2001). O HDM e o DRP podem alterar a microestrutura e propriedades mecânicas dos alimentos, mudando as propriedades físicas, conseqüentemente afetando as cinéticas e a situação de equilíbrio final do sistema (Fito et al., 1996).

A IV de alimentos pode ser utilizada para acelerar o processo de desidratação osmótica, para o enriquecimento de alimentos com vitaminas, sais minerais, probióticos e prebióticos, para a aceleração da salga e de processos de extração (Fito e Pastor, 1994; Fito et al., 1996; Carciofi, 2009). A eficiência da IV nos processos de salga é dependente de vários fatores, tais como a microestrutura do alimento (porosidade, tamanho e forma do poro e tipo de fluido que ocupa os poros), as propriedades de escoamento da solução externa e as variáveis de operação: taxa de compressão, período de vácuo (t_1) e temperatura (Chiralt et al., 2001). A porosidade do alimento é uma característica fundamental na transferência de massa e deve ser avaliada nas pesquisas que envolvem processos com pulsos de vácuo (Fito, 1994). A salga com IV tem sido aplicada para diferentes produtos alimentícios, como na salga de queijos (Fito e Pastor, 1994; Hofmeister et al., 2005b), presunto (Barat et al., 2005), peixes e carnes de aves (Chiralt et al., 2001; Deumier et al., 2003ab; Schmidt et al., 2008a).

Barat et al. (2003) analisaram a influência dos métodos de salga em solução concentrada de NaCl com e sem aplicação de vácuo (50

mbar por 30 minutos) na transferência de massa em filés de bacalhau. Os autores observaram que o uso de um pulso de vácuo implicou em uma redução muito pequena na perda de massa em comparação aos processos à pressão atmosférica. No entanto, a aplicação do vácuo teve um papel importante no aumento de ganho de sal. Os autores também relatam que a baixa influência da IV no comportamento do ganho de água não é claro, mas poderia ser explicada pelos fenômenos da interação proteínas-íons, afetando a conformação da proteína e reduzindo a disponibilidade dos íons para participar da fase líquida.

Deumier et al. (2003a) estudaram o processo de salga de carne de aves com IV em solução concentrada de NaCl e observaram que o produto final apresentou uma concentração maior de sal e menor perda de água (menor desidratação) do que o produto submetido à pressão atmosférica, contribuindo no aumento do rendimento e na redução do tempo de salga.

Hofmeister et al. (2005ab) realizaram um estudo comparativo entre a salga convencional e a salga com IV em queijo tipo Minas, utilizando soluções de NaCl com concentração de 22% (m/m) coloridas com azul de metileno. Após os processos de salga, os queijos foram seccionados e fotografados para a avaliação da impregnação salina. Os autores relatam que o processo de salga com IV reduziu o tempo de salga de 2,5 h para 15 minutos em relação ao processo convencional para atingir a mesma concentração de NaCl de 1,6% (m/m) no produto. As imagens fotográficas evidenciaram a influência da intensidade da aplicação do vácuo e do tempo de contato do queijo com a solução para um aumento no ganho de sal.

Schmidt et al. (2008a) estudaram o efeito da IV na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. Os autores avaliaram dois processos de salga, um inteiramente à pressão atmosférica e o outro com aplicação de vácuo seguido do restabelecimento da pressão atmosférica, verificando que a utilização de vácuo auxiliou no ganho de água, ganho de sal e ganho de massa total.

Grau et al. (2011) estudaram o processo de descongelamento simultâneo ao processo de salga com e sem IV para a produção de presunto Ibérico (seco-curado) e obtiveram uma redução no tempo de 77% com aplicação de pulso de vácuo e 63% sem pulsos de vácuo em relação ao processo tradicional (descongelamento depois salga), para atingir a mesma concentração de NaCl no produtos. Normalmente, os processos de salga também são combinados com outros processos,

como: fermentação, secagem e defumação, visando aumentar a vida útil dos produtos alimentícios (Bros et al., 2012).

1.6.2 Secagem

A secagem é uma das técnicas mais antigas utilizadas na conservação de alimentos (Louka e Allaf, 2002), assim como a técnica de salga. Na secagem o conteúdo de água e a atividade de água no alimento são reduzidos ao ponto de evitar ou inibir o crescimento de microrganismos e certas reações químicas indesejáveis, aumentando assim a vida útil dos alimentos em relação aos *in natura* (Geankoplis, 1998; Thiagarajan, 2008; Wang et al., 2011). O processo de secagem também tem sido utilizado para reduzir custos ou dificuldades na embalagem, manuseio, armazenamento e transporte, pois diminui a massa e, em muitos casos o volume dos produtos (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000). Os processos de secagem podem ser classificados em três categorias, de acordo com as condições físicas utilizadas para transferir calor ao alimento e remover a umidade. A primeira categoria refere-se à secagem com ar quente à pressão atmosférica, em que o calor é transferido para o alimento por contato direto com o ar de secagem, sendo que o vapor de água evaporado do produto é removido pelo próprio ar de secagem. A segunda refere-se aos processos de secagem a vácuo, em que a vaporização da água é facilitada pelas baixas pressões e a transferência de calor ocorre por radiação e condução através da placa aquecida ou parede metálica. A terceira categoria corresponde aos processos de secagem por liofilização, em que a água é sublimada diretamente do material previamente congelado (Geankoplis, 1998). Os processos de secagem envolvem transferência de calor e massa, transformações físicas, cristalização ou transição vítrea e reações químicas ou bioquímicas que causam alterações na cor, textura, odor e outras características do produto (Haghi e Amanifard, 2008).

1.6.2.1 Fundamentos da secagem

Nos processos de secagem, a massa do produto que está sendo seco é determinada e expressa em função do tempo (Geankoplis, 1998; Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000). A partir desses dados, pode-se determinar a variação da umidade em função do tempo e a taxa de

secagem. A umidade do produto em base seca é definida como a razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos presentes na amostra, conforme a Equação 1.3.

$$X_a = \frac{M - M_s}{M_s} \quad (1.3)$$

em que X_a é a umidade do produto em base seca (bs) expressa em kg de água por kg de sólido seco, M é a massa total (sólidos secos mais umidade) da amostra em um determinado tempo e M_s é a massa dos sólidos secos.

Uma variável importante é o teor de umidade livre (X), expressa em kg de água livre kg^{-1} de sólidos secos, que pode ser avaliada através da umidade de equilíbrio do produto, conforme Equação 1.4.

$$X = X_a - X_{eq} \quad (1.4)$$

em que X_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio com o ar de secagem a uma determinada temperatura e umidade relativa (em condições de secagem constantes).

As curvas típicas de secagem são obtidas ao representar, a umidade livre em função do tempo t . A velocidade de secagem (R) por unidade de área superficial é obtida em $\text{kg de H}_2\text{O h}^{-1}\text{m}^2$, calculando-se a derivada da curva de secagem, conforme Equação 1.5.

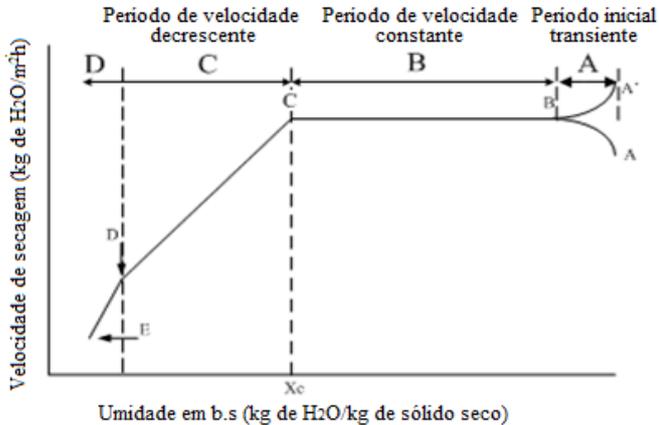
$$R = - \frac{M_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (1.5)$$

onde A é a área superficial da amostra exposta ao ar de secagem em m^2 .

Os processos de secagem, baseados na transferência de calor e de massa de uma forma geral podem ser divididos em três períodos: (i) período inicial transiente; (ii) período de velocidade constante e (iii) e período de velocidade decrescente. A Figura 1.6 apresenta uma curva típica da velocidade de secagem para condições do ar constantes (temperatura e UR).

Figura 1.6 Curva típica de velocidade de secagem para condições de processo constantes.

Fonte: Adaptado de Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000.



No primeiro período (A ou A' a B), os pontos A e A' representam o início do processo de secagem de um alimento com temperatura inferior ou superior ao ar de secagem, respectivamente (Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000). Nesse período ocorre um ajuste da temperatura do alimento e da pressão de vapor de água (Park et al., 2001). O segundo período (B a C) inicia no ponto B, onde a temperatura da superfície do alimento atinge seu valor de equilíbrio. Esse período é caracterizado pela velocidade de secagem constante e esta associada à eliminação da água livre do alimento, em que a água se comporta como se o sólido não estivesse presente (Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000). O período de velocidade constante de secagem continua enquanto houver água chegando à superfície do alimento com a mesma velocidade em que a água é evaporada (Geankoplis, 1998; Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000). No terceiro período (C a E), a taxa de secagem é decrescente, devido à menor quantidade de água presente na superfície do alimento, reduzindo assim a transferência de massa. Neste caso, a velocidade de secagem é governada pelo fluxo de água ou vapor do interior do alimento para a superfície (Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000). Nesse período a temperatura do sólido aumenta até atingir a temperatura do ar de secagem. A quantidade de água removida neste período é relativamente menor em comparação com o período a velocidade constante. O processo de

secagem é finalizado quando o sólido atinge a umidade de equilíbrio com o ar de secagem (Geankoplis, 1998; Barbosa-Canovas e Vega-Mercado, 2000).

1.6.2.2 Métodos de secagem

A exigência dos consumidores por produtos de qualidade e que preservem ao máximo as suas características originais (nutricionais) tem motivado pesquisadores e indústrias alimentícias a desenvolverem e aplicarem novas tecnologias de secagem. Entre elas podem ser citadas: i) a aplicação de vácuo, que possibilita a utilização de temperaturas mais baixas que as utilizadas no processo de secagem com ar quente, preservando as vitaminas e nutrientes sensíveis ao calor, ii) a liofilização, que é realizada em condições abaixo do ponto triplo da água, facilitando a sublimação da água e protegendo a estrutura do produto, e iii) o uso de novas fontes de aquecimento, como micro-ondas e aquecimento de rádio frequência, que permitem reduzir o tempo de secagem (Jangam et al., 2010). Normalmente os métodos de secagem são avaliados em relação à sua eficiência energética, tempo necessário de secagem e qualidade do produto desidratado (Chen e Mujumbar, 2008).

A escolha por um método de secagem depende do tipo de produto a ser seco, da qualidade desejada no produto final, da susceptibilidade do produto ao calor e dos custos de operação (Thiagarajan, 2008). Segundo Wang et al. (2011) o processo de secagem representa um custo de 12% a 20% para o setor industrial, devido ao considerável consumo de energia.

1.6.2.2.1 Secagem convectiva

Os processos de secagem com ar quente (secagem convectiva) à pressão atmosférica, classificados como processos de secagem convencional, são os mais difundidos e tradicionalmente utilizados na indústria de alimentos (Fellows, 2000; Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000; Ratti, 2001; Chen e Mujumbar, 2008). Durante a secagem convectiva ocorre a transferência simultânea de calor e massa, com a mudança de fase da água (Geankoplis, 1998; Fellows, 2000). O alimento úmido submetido ao processo de secagem à pressão atmosférica é aquecido ao mesmo tempo em que tem o seu teor de

umidade reduzido. O ar quente passa sobre ou através do alimento a ser seco, transferindo calor para a superfície essencialmente por convecção e o vapor de água formado é transportado para fora do equipamento pelo fluxo contínuo de ar (Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado, 2000; Chen e Mujumbar, 2008). Os mecanismos de transferência de massa (água) no interior do produto a ser seco podem ser resumidos em transporte por capilaridade, difusão do líquido por gradiente de concentração, difusão superficial e difusão do vapor de água nos poros preenchidos com ar (Barbosa-cánovas e Vega-mercado, 2000).

Os processos de secagem convectiva geralmente apresentam baixas taxas de secagem e são relativamente lentos, devido à baixa condutividade térmica dos alimentos (Fellows, 2000; Wang et al., 2011). Os fatores que influenciam a taxa de secagem podem ser divididos em dois grupos: condição de processo (temperatura, umidade relativa, velocidade e vazão do ar) e natureza do alimento (tamanho, forma, difusão do líquido, composição e estrutura) (Fellows, 2000). Os defeitos mais comuns de qualidade associados aos produtos secos por esse método são a baixa capacidade de reidratação, perda de textura, oxidação dos pigmentos e vitaminas, alterações nas propriedades sensoriais, como sabor e cor. A secagem por ar quente tem efeito semelhante aos tratamentos térmicos (cozimento) na desnaturação das proteínas da carne (Pardi et al., 1995, Lawrie, 2005). Esses defeitos se devem principalmente à exposição do produto a altas temperaturas por longos períodos na presença de ar/O₂ (Jangam et al., 2010).

Normalmente, as carnes secas com ar quente podem apresentar ressecamento superficial, que se comporta como uma película rígida de baixa permeabilidade, dificultando a migração da água do interior do produto para a superfície. Os solutos presentes no produto, como sais e açúcares, são arrastados pela água até a superfície do alimento, onde se concentram e podem cristalizar ou formar uma camada amorfa de baixa permeabilidade ao vapor de água (Fellows, 2000; Lawrie, 2005). Os sais de potássio tendem a acumular-se na superfície, impedindo a entrada da água no processo de reidratação (Lawrie, 2005).

A qualidade da carne submetida ao processo de secagem muitas vezes é avaliada pela capacidade de reincorporar a água (removida na secagem) durante a reidratação (Lawrie, 2005). Os alimentos secos sob condições ótimas/ideais sofrem menos alterações nas suas propriedades estruturais que os secos em condições adversas. Várias alterações ocorrem durante a secagem, como a perda de pressão osmótica celular, alterações na permeabilidade da membrana celular, a migração do

soluto, cristalização de polissacarídeos e coagulação de proteínas celulares. Todos esses fatores contribuem para as alterações de textura e interferem na capacidade de reidratação (Fellows, 2000).

Segundo Lawrie (2005) a capacidade de retenção de água da carne decresce com o aumento da temperatura de secagem, devido à maior desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas. O autor relata que as temperaturas entre 20 e 30 °C não causam alteração no grau de reidratação do produto. Desta forma, os processos de secagem a vácuo (baixas pressões) podem contribuir na conservação ou manutenção das propriedades, devido à utilização de baixas temperaturas (Schubert e Regier, 2006).

1.6.2.2.2 *Secagem a vácuo*

No processo de secagem a vácuo, a remoção de umidade do alimento ocorre a baixas pressões, inferiores a 100 kPa (Jangam et al., 2011). O alimento é colocado em contato com uma superfície (placa) aquecida que promove a transferência de calor necessário para a evaporação da água do alimento (Jaya e Das, 2003). A transferência de calor para o alimento no interior da estufa a vácuo ocorre por condução e radiação. O calor é transferido da placa aquecida para o alimento, por condução, e das paredes da estufa por radiação (Chen e Mujumdar, 2008).

A secagem a vácuo é um processo adequado para secar alimentos sensíveis ao calor e que apresentam propriedades oxidativas (Jangam et al., 2011), uma vez que altas temperaturas poderiam causar danos às propriedades do material (Zhang et al., 2003). Como o ponto de vaporização da água diminui com a redução da pressão, a secagem a vácuo pode ser conduzida a temperaturas inferiores àquelas utilizadas na secagem convencional (Foerst e Kulosik, 2007). Quanto menor a pressão aplicada menor é a temperatura utilizada durante o processo de secagem (Jangam et al., 2011).

Existem vários métodos de secagem a vácuo em que se diferem fundamentalmente na intensidade da aplicação de vácuo, na temperatura, no estado que a água se encontra no produto e no sistema de aquecimento. Dentre eles podem ser citados os processos de *puffing drying*, *explosion-puffing*, descompressão repentina controlada (DIC) e secagem convectiva *multi-flash* (CMFD).

Zotarelli et al. (2012) avaliaram a aplicação do processo de secagem convectiva *multi-flash* na produção de frutas desidratadas (banana e manga). Esse processo consistiu no aquecimento das amostras com ar quente até a temperatura de 60 °C, seguido da aplicação de pulsos de vácuo. Os autores obtiveram banana e manga desidratadas com atividade de água de 0,272 e 0,359 com três e quatro horas de secagem, respectivamente. Segundo os autores, as frutas desidratadas apresentaram propriedades mecânicas semelhantes às frutas comerciais obtidas por liofilização.

1.6.2.2.3 *Secagem por Micro-ondas a vácuo*

A energia de micro-ondas utilizada no aquecimento e secagem de alimentos pode ser combinada com vácuo, o que origina produtos com propriedades comparáveis aos obtidos por liofilização, porém em tempos mais curtos e conseqüentemente com custos mais baixos (Ahrenset al., 2006). As micro-ondas se encontram localizadas no espectro eletromagnético entre a região de infravermelho e as radiofrequências. Essas são radiações eletromagnéticas não ionizantes, com frequência entre 0,3 e 300 GHz, correspondendo ao comprimento de ondas na ordem de 0,001 m a 1 m (Fortuny et al., 2008; Souza e Miranda, 2011). Na faixa das micro-ondas, a energia correspondente aos fótons é insuficiente para quebrar as ligações químicas, devido aos longos comprimentos de onda (Fortuny et al., 2008; Thiagarajan, 2008).

A energia de micro-ondas gera calor volumetricamente dentro dos materiais úmidos, pela combinação de dois mecanismos: a polarização devido à rotação dipolar (oscilações) e a condução iônica devido às fricções das moléculas (Souza e Miranda 2011; Wang et al., 2011). Os dipolos ou íons presentes na mistura alinham-se ao campo elétrico aplicado. Como as micro-ondas oscilam 2450×10^6 vezes por segundo, as moléculas dipolares e os íons (cargas) livres dos materiais dielétricos tendem a se realinhar ao campo elétrico oscilante na mesma taxa (Thiagarajan, 2008; Fortuny et al., 2008; Souza e Miranda 2011; Wang et al., 2011). Essas oscilações geram atrito entre as cargas e colisões moleculares, o que resulta na perda de energia sob a forma de calor e conseqüentemente aumentam a temperatura do sistema. Esses efeitos são chamados de aquecimento dielétrico e polarização (Senise e Jermolovicius, 2003; Fortuny et al., 2008). A composição de cada alimento e o seu estado físico (líquido ou sólido) influencia no tipo de

deslocamento das cargas, interferindo nas propriedades dielétricas. Estas propriedades determinam a interação entre o alimento e a energia eletromagnética, assim como a capacidade em converter a energia das micro-ondas em calor (Lyng et al., 2005; Fortuny et al., 2008). A eficiência dessa conversão é diferente para cada alimento e pode ser definida pelas propriedades dielétricas, normalmente descritas em termos da permissividade complexa relativa (\mathcal{E}), de acordo com a Equação 1.6 (Wang et al., 2011).

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}' - j\mathcal{E}'' \quad (1.6)$$

em que \mathcal{E} é a permissividade complexa relativa, j é igual a $\sqrt{-1}$ e \mathcal{E}' é a constante dielétrica relativa (parte real), a qual descreve a capacidade de um material em armazenar energia em resposta à aplicação de um campo elétrico (para o vácuo $\mathcal{E}' = 1$). A parte imaginária da permissividade complexa relativa, conhecida como o fator de perda dielétrica relativa (\mathcal{E}''), descreve a capacidade de um material em dissipar energia em resposta a um campo elétrico aplicado, o que normalmente resulta na geração de calor. Toda a conversão da energia eletromagnética em energia térmica em um alimento ou material é o resultado da sua interação com o campo elétrico (Wang et al., 2011). O fator de perda dielétrica \mathcal{E}'' pode ser expresso pela Equação 1.7.

$$\mathcal{E}'' = \mathcal{E}' \tan \delta \quad (1.7)$$

em que δ se refere ao ângulo de perda e representa a mudança de fase entre a orientação das moléculas e as mudanças do campo elétrico.

A profundidade de penetração das micro-ondas nos diferentes tipos de alimentos também está relacionada com a densidade dos mesmos. Em alimentos menos densos (ex. pão) ocorre uma penetração de 5 a 7 cm, enquanto que em alimentos mais densos (ex. carne) a penetração é de 2 a 3 cm. À medida que as micro-ondas penetram no alimento, sua energia é absorvida por ressonância e sua potência diminui, pois a energia da onda é absorvida e transformada em calor. Assim, alimentos mais espessos serão aquecidos por micro-ondas apenas até a profundidade em que elas conseguem penetrar, ou seja, as

camadas externas. As camadas internas serão aquecidas pela transferência de calor por condução (Mai, 2008). Lyng et al. (2005) estudaram as propriedades dielétricas da carne e obtiveram os valores de 43,7 para a constante dielétrica, 13,7 para o fator de perda dielétrica, 1,91 cm para penetração (profundidade), 0,313 para a $\tan \delta$ e 0,543 para a potência refletida. Os autores determinaram os valores dessas propriedades na frequência de 2450 MHz e a temperatura durante o aquecimento foi de 61 °C.

Dentre as vantagens da secagem por micro-ondas, quando comparados aos processos convencionais de secagem com ar quente, podem ser citadas: o menor tempo de secagem, aquecimento mais uniforme, ser energeticamente mais eficiente (quase toda a energia é transformada em calor), ter a qualidade do produto melhorada e apresentar flexibilidade na produção de uma grande variedade de produtos (Haghi e Amanifard, 2008; Souza e Miranda 2011).

Drouzas e Schuber (1996) estudaram o processo de secagem de fatias de banana e não observaram diferenças significativas nos resultados das análises de cor, o sabor e aroma das fatias de bananas secas por micro-ondas a vácuo em relação ao processo de secagem por liofilização.

Figiel (2010) estudou a cinética de secagem e a qualidade de beterrabas desidratadas por métodos convectivos e por micro-ondas a vácuo. O autor relatou que as amostras secas por micro-ondas a vácuo exigiram menor tempo de secagem, apresentaram menor resistência à compressão, maior potencial de reidratação e maior atividade antioxidante quando comparadas às amostras secas pelo processo de secagem convectiva.

Nimmanpipug et al. (2013) estudaram a caracterização de amostras de mamão desidratado osmoticamente e submetidas a secagem através de dois processos, um com ar quente a 70 °C e outro por micro-ondas a vácuo com potência de 750 W, intensidade de onda de 3,75 W g⁻¹ e pressão de 13,33 kPa. Segundo os autores, as amostras secas por micro-ondas a vácuo apresentaram uma maior porosidade e melhor aceitação em relação às amostras secas com ar quente.

Manafzadeh et al.(2013) investigaram o efeito de diferentes técnicas de secagem (ao sol, com ar quente, à vácuo, com ar quente seguido de micro-ondas e micro-ondas à vácuo) nos atributos sensoriais da carne de cordeiro. Os autores relatam que os resultados obtidos em relação ao teor de proteína, à atividade da água e à contagem total

microbiana nas amostras demonstram que a melhor técnica de secagem é a de micro-ondas à vácuo na potência de 300 W e 500 W.

Outro trabalho encontrado na literatura que utilizou o sistema de aquecimento de micro-ondas, porém sem aplicação de vácuo, na elaboração de *jerked beef* foi o de Thiagarajan (2008). O autor relata que o método de secagem por micro-ondas reduziu o tempo de secagem de três horas para 8,25 minutos em relação ao processo de secagem convectiva com ar forçado.

2 INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE SALGA E DA SUBSTITUIÇÃO DE NaCl POR KCl NA CINÉTICA DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA EM CORTES DE CARNE BOVINA**2.1 Introdução**

O processo de salga é amplamente utilizado na elaboração de produtos cárneos com o objetivo de conservação e geração de características sensoriais específicas. A conservação se deve basicamente à capacidade do sal em reduzir a atividade de água (Barat et al., 2011; Albarracín et al., 2011). As formas mais comuns de salga de produtos cárneos, tanto na produção artesanal como na industrial, são a salga seca, a salga úmida e a salga mista. Esta última é realizada através da combinação dos processos de salga seca e úmida. A salga seca consiste na deposição do sal sobre a superfície do produto, mas também pode ser feita pela fricção do sal com a superfície do alimento, enquanto que na salga úmida o alimento é imerso em solução salina (Gava et al., 2008; Mujumdar, 2006). Além do sal, outros ingredientes podem ser adicionados às soluções salinas, como a adição de ácidos orgânicos fracos (acético, cítrico, láctico e outros). A adição de ácidos nos processos de salga de produtos cárneos, também denominada de marinação ácida, tem sido utilizada para conferir características específicas (sabor, maciez e outras) e retardar a ação das bactérias e enzimas, aumentando a vida útil dos produtos cárneos. Isso ocorre pela ação simultânea do sal e dos ácidos orgânicos, que causam aumento da força iônica e decréscimo no pH (Capaccioni et al., 2011). A diminuição do pH abaixo do ponto isoelétrico na presença de sal reduz a intensidade das forças de repulsão eletrostáticas entre os grupos de cargas positivas das proteínas estruturais. Assim, reduzindo a capacidade de retenção de água da carne e favorecendo o processo de desidratação (Goli et al., 2014). Os dados disponíveis na literatura sobre a transferência de massa (sal e água) em processos de salga com alta concentração de NaCl combinados com a adição de ácidos, ainda são bastante escassos (Goli et al., 2011).

Na elaboração do charque e do *jerked beef*, tanto nos processos de fabricação artesanal quanto industrial, é utilizada a combinação das técnicas de salga úmida (com solução salina saturada) e seca (Sabadini

et al., 1998; Shimokomaki et al., 1998). Apesar de o charque ter surgido a mais de um século e ser consumido em todas as regiões do país, o seu processo é ainda bastante artesanal (Shimokomaki et al., 2006).

Os processos de salga de grandes peças alimentícias geralmente são lentos, devido aos baixos valores da difusividade do sal para as baixas temperaturas requeridas para garantir a segurança do alimento durante o processamento. Nos últimos anos, a impregnação a vácuo (IV) nos processos de salga tem sido reportada como alternativa para reduzir o tempo de salga e acelerar a transferência do sal para o interior do produto, além de promover uma distribuição homogênea do mesmo (Chiralt et al., 2001; Hofmeister et al., 2005; Schmidt et al., 2008b). O processo de impregnação a vácuo consiste na troca do gás e do líquido nativo presente no interior dos poros do produto por um líquido externo em que o produto está imerso. Isso se faz pela ação de gradientes macroscópicos de pressão promovidos pela aplicação de vácuo, seguida pelo restabelecimento da pressão atmosférica na câmara (Chiralt et al., 2001).

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura com charque é referente à caracterização físico-química, microbiológica e sensorial. No entanto, é necessário o conhecimento da cinética da variação dos conteúdos de umidade e de sal durante o processamento para estimar o tempo de salga em função da concentração desejada no produto final (Schmidt et al., 2008a). O controle da concentração de sal no produto é de grande importância, uma vez que a demanda de consumo por produtos salgados, como bacon, presuntos crus curados, bacalhau, assim como o charque e *jerked beef* está mudando para produtos com menor teor de sal (Barat et al., 2011). O interesse dos consumidores por produtos processados com menor teor de sal se deve às mudanças nas preferências sensoriais e à crescente preocupação com o consumo de sal, em função dos danos cardiovasculares causados pelo consumo excessivo de sódio (Na^+) (Aliño et al., 2009; Aliño et al., 2010a; Barat et al., 2011). Isso tem impulsionado o estudo da substituição parcial do cloreto de sódio (NaCl) por outros sais em produtos como presunto cru, carne suína e peixes (Aliño et al., 2009; Aliño et al., 2010b; Barat et al., 2011).

A redução do cloreto de sódio pode ser realizada pela diminuição do seu teor ou pela substituição parcial desse por outros sais de cloreto (KCl , CaCl_2 , MgCl_2) ou sais não-cloretos (fosfatos) ou mesmo uma combinação de ambos (Aliño et al., 2010a). Dentre os sais, o cloreto de potássio (KCl) tem sido o mais estudado (Albarracín et al.,

2011; Barat et al., 2011; Aliño et al., 2010a; Aliño et al.; 2009) por apresentar propriedades físicas semelhantes ao NaCl (Bona et al., 2005) e melhores resultados que o CaCl_2 e MgCl_2 em relação a qualidade físico-química e sensorial dos produtos cárneos (Aliño et al., 2010b; Armenteros et al., 2012).

A diminuição ou substituição de NaCl pode ocasionar alterações nas propriedades físico-químicas do produto, como a aumento da atividade de água, assim aumentando o risco do produto em sofrer alterações bacterianas. Além, do sabor amargo e adstringente conferido pelo KCl, devido a variabilidade da concentração no produto final, uma vez que o NaCl e KCl apresentam solubilidades e coeficientes de difusão diferentes (Aliño et al., 2011). Isso aumenta a importância do estudo da transferência de sal (íons de sódio e potássio) e de água, para minimizar a variabilidade da concentração desses sais no produto final (Aliño et al., 2011). Assim, contribuir para alcançar um produto final menos salgado e com concentrações de sais mais controladas (Barat et al., 2011).

Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi estudar as cinéticas de transferência de massa em cortes de carne bovina durante a salga úmida e mista realizada à pressão atmosférica, com pulsos de vácuo e na salga úmida com adição de ácidos fracos e substituição parcial de NaCl por KCl.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Matéria-prima, preparo das amostras e soluções salinas

O corte de carne bovina utilizado nos experimentos foi o acém, também conhecido como ponta de agulha. Os cortes foram adquiridos no comércio local de Florianópolis – SC provenientes da mesma unidade processadora (abatedouro). Para minimizar a heterogeneidade da matéria-prima, os cortes de carne foram selecionados através dos valores de pH (medido em três pontos diferentes, com um potenciômetro digital com eletrodo de penetração - marca Analion, modelo PH-730, Brasil). Somente os cortes com pH entre 5,4 e 5,9 foram utilizados para a preparação das amostras, que foram cortadas em formato de paralelepípedos com dimensões de 8,0 x 8,0 x 1,5 cm (comprimento x largura x espessura). As amostras foram pesadas (≈ 150 g), acondicionadas individualmente em cestas plásticas perfuradas, identificadas e submetidas às diferentes técnicas de salga.

No preparo das soluções de salmoura foi utilizado cloreto de sódio comercial (refinado) da marca Cisne, cloreto de potássio P.A. da marca VETEC (grau de pureza de 99%), ácidos orgânicos da marca VETEC: ácido acético P.A (grau de pureza de 99,7%), ácido cítrico P.A (grau de pureza de 99,5%), ácido láctico P.A (grau de pureza de 84,5 a 85,5%) e água destilada como solvente.

Neste trabalho foi estudada a cinética de transferência de massa em cortes de carne bovina submetidos à salga úmida e à salga mista (salga úmida seguida de salga seca). A salga úmida foi selecionada por permitir a aplicação de pulsos de vácuo e, em nível industrial permitir o reaproveitamento da salmoura através de tratamentos térmicos (fervura) e/ou filtração, enquanto que a salga mista foi selecionada por essa ser tradicionalmente utilizada na indústria na elaboração de produtos cárneos salgados e desidratados, como o charque e o *jerked beef*.

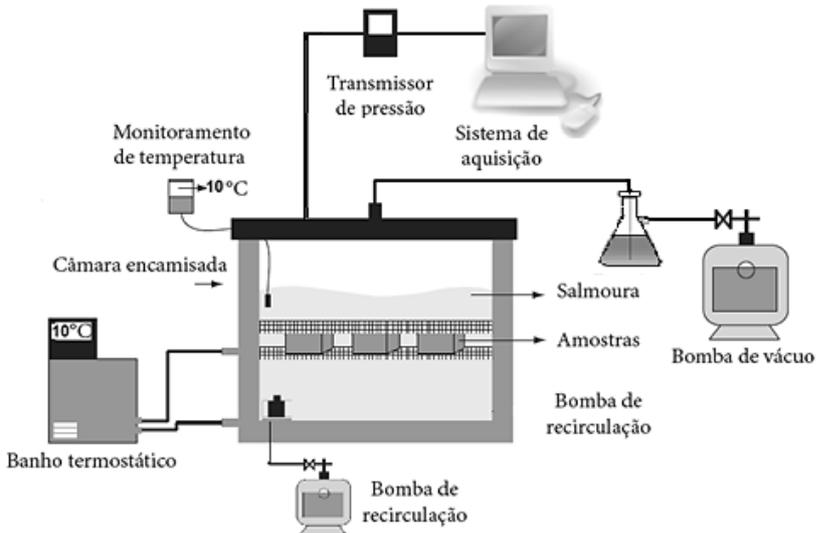
2.2.2 Dispositivo experimental utilizado na salga úmida

A salga úmida foi realizada no dispositivo experimental esquematizado na Figura 2.1. Esse sistema é composto por uma câmara de aço inoxidável encamisada (volume interno de 53,5 L), conectada a uma bomba de vácuo com vazão nominal de $350 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (DVP, modelo LC.305, Itália) e a uma bomba de agitação de líquidos com vazão de 5.000 L h^{-1} (Bombinox, modelo BL 05, Brasil). O monitoramento da

pressão na câmara, importante no processo de impregnação a vácuo, é realizado através de um transmissor de pressão (Wärme do Brasil, modelo WTP-4010, Brasil) conectado a um microcomputador. A temperatura no interior da câmara é controlada através da circulação de água resfriada na camisa, proveniente de um banho termostático (Quimis, Modelo Q214M2, Brasil).

Figura 2.1 Representação esquemática do dispositivo experimental utilizado na salga úmida de cortes de carne bovina.

Fonte: Adaptado de Schmidt et al., 2008a.

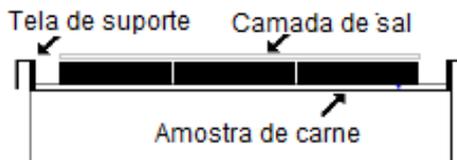


2.2.3 Dispositivo experimental utilizado na salga mista de cortes de carne bovina

Na salga mista, os cortes de carnes foram submetidos primeiramente à salga úmida, em seguida à salga seca. Esta última foi realizada em um recipiente plástico (PVC) com uma grade suspensa na altura de 5 cm da base, como ilustrado na Figura 2.2, de modo que as amostras não ficassem em contato com a água exsudada durante o processo.

Figura 2.2 Representação esquemática do sistema utilizado na salga seca de cortes de carne bovina.

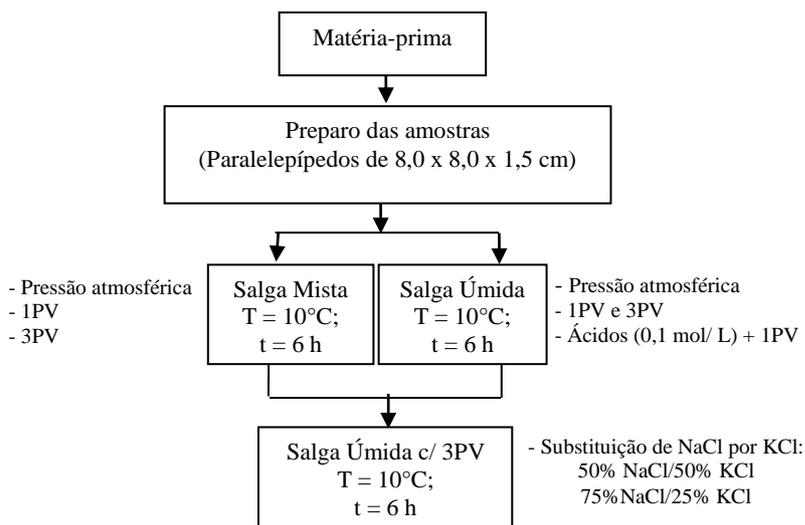
Fonte: Adaptado de Sabadini et al., 2001



2.2.4 Processos de salga avaliados

Um fluxograma esquemático das técnicas de salga (úmida e mista) e das condições de processo (pressão atmosférica, pulso de vácuo, adição de ácidos e substituição de NaCl por KCl) empregadas nos ensaios experimentais é apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 Fluxograma esquemático do estudo da cinética de transferência de massa durante a salga de cortes de carne bovina.



Todos os experimentos de salga estudados foram realizados em duplicata verdadeira, sendo utilizado um número de amostras suficiente

para que em cada tempo pré-determinado fossem retiradas três amostras. Essas foram analisadas individualmente. Na primeira hora de salga foram retiradas amostras a cada 20 minutos e depois de hora em hora, até o final do experimento. As amostras salgadas foram lavadas com solução salina saturada (para eliminar a presença de possíveis cristais de sal na superfície), colocadas em contato com papel filtro por cinco segundos de cada lado (para retirar o excesso de salmoura aderida à superfície), pesadas e submetidas às análises de pH e cor (conforme descritas no item 2.2.9). Em seguida, as mesmas foram trituradas em um multiprocessador (Philco, modelo *Multipro all in one*) e submetidas às análises de umidade, atividade de água, cloretos, sódio e potássio, (conforme descritas no item 2.2.9).

2.2.5 Processos de salga à pressão atmosférica

Para o estudo da transferência de massa durante a salga das amostras de carne à pressão atmosférica (Patm) foram avaliados os seguintes processos: (i) salga úmida e (ii) salga mista (salga úmida seguida de salga seca).

2.2.5.1 Salga úmida

No processo de salga úmida (SU) as amostras foram imersas em solução saturada de NaCl (26% g g⁻¹; 6 mol L⁻¹) a 10 °C, utilizando o dispositivo experimental descrito na Figura 2.1, por seis horas para a avaliação da cinética de salga. Essa temperatura foi selecionada com base no processo de elaboração do *jerked beef* (Gouvêa e Gouvêa, 2007) e no trabalho de Sabadini et al. (1998). A relação mássica de salmoura por carne bovina foi de 10:1. Essa razão mássica foi utilizada de forma a evitar a variação da concentração de sal durante o processo de salga.

2.2.5.2 Salga mista

A salga mista (SM) foi composta de duas etapas para simular o processo de salga do charque. Na primeira, as amostras foram submetidas à salga úmida por 20 minutos. Na segunda, após a salga úmida, as amostras foram envoltas por uma camada de sal de aproximadamente 5 mm e depositadas sobre uma grade suspensa em um recipiente plástico (Figura 2.2). O recipiente contendo as amostras foi

condicionado no interior de uma câmara de resfriamento com temperatura controlada em 10 °C, simulando uma câmara industrial de salga com umidade relativa de 30%. As amostras permaneceram nessas condições por 5 horas e 40 minutos, totalizando 6 horas de salga.

2.2.6 Influência da aplicação de pulsos de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida e mista de cortes de carne bovina.

A influência da aplicação de pulsos de vácuo (PV) na cinética de transferência de massa nos processos de salga úmida e mista foi avaliada em duas etapas. Na primeira etapa foi aplicado um pulso de vácuo (1PV) de 50 mmHg nos primeiros 15 minutos de salga (úmida), seguido do restabelecimento da pressão atmosférica (Patm) por cinco minutos. Na segunda etapa foram aplicados três pulsos de vácuo (3PV) nos primeiros 20 minutos de salga. Os 3PV são caracterizados por uma sequência de alterações de pressão de 50 mmHg por cinco minutos, seguidos do restabelecimento da Patm por dois minutos. O tempo de cinco minutos de pressão subatmosférica foi determinado em estudos preliminares, utilizando uma célula de carga. Esse tempo foi suficiente para que o peso das amostras se mantivesse constante durante a aplicação da pressão de 50 mmHg. A representação das curvas de pressão de 1PV e 3PV utilizadas nos processos de salga na primeira e na segunda etapa é ilustrada nas Figuras 2.4 e 2.5, respectivamente.

Figura 2.4 Curva de pressão com aplicação de um pulso de vácuo (1PV) e três pulsos de vácuo (3PV) utilizado no processo de salga úmida e mista.

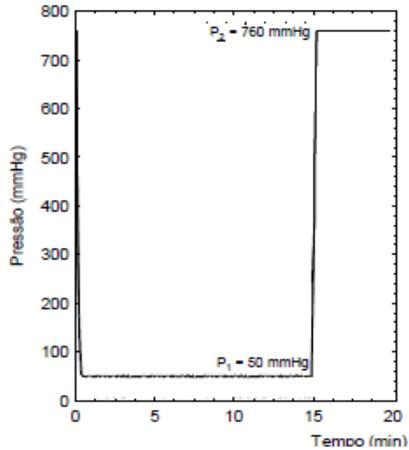
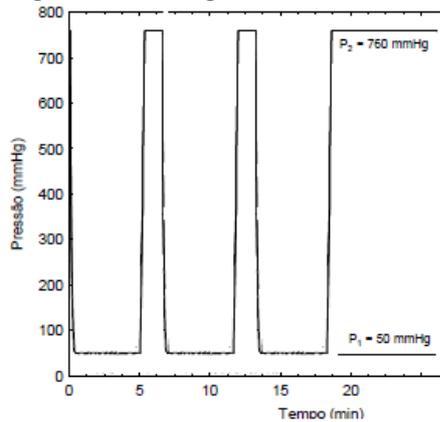


Figura 2.5 Curva de pressão com aplicação de três pulsos de vácuo (3PV) utilizado no processo de salga úmida e mista.



2.2.7 Efeito da adição de ácidos associados a um pulso de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina

Durante esta etapa do trabalho, avaliou-se individualmente o efeito da adição de três tipos de ácidos orgânicos fracos (ácido acético, cítrico e láctico) à salmoura ($6 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$) na cinética de transferência de massa (água e sal). A salga com adição de ácido (marinação ácida) seguiu o mesmo procedimento da salga úmida (item 2.2.5.1) com aplicação de 1PV (item 2.2.6), ou seja, à pressão de 50 mmHg nos primeiros 20 minutos de salga. A concentração dos ácidos utilizada na salmoura foi de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com base em um estudo prévio onde foram utilizadas concentrações de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ e $0,6 \text{ mol L}^{-1}$. Os produtos resultantes das concentrações $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ e $0,6 \text{ mol L}^{-1}$ apresentaram uma coloração escura, não atrativa.

2.2.8 Influência da substituição parcial de NaCl por KCl na cinética de transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina

Em continuação ao estudo dos processos de salga dos cortes de carne bovina foi investigada a influência da substituição do cloreto de sódio (NaCl) por cloreto de potássio (KCl) nas cinéticas de salga, utilizando três formulações de salmoura com concentração total de sal de 6 mol L^{-1} de solução ($\approx 26\%$ em massa de sal): (A) 100% de NaCl ($\approx 6 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução), (B) 75% de NaCl e 25% de KCl ($\approx 4,5 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $1,5 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução) e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl ($\approx 3 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $3 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução). O processo de substituição parcial de NaCl por KCl foi realizado utilizando a técnica de salga úmida com aplicação de 3PV, descrita nos itens 2.2.5.1 (salga úmida) e 2.2.6 (3PV).

2.2.9 Análises físico-químicas e parâmetros de processo

2.2.9.1 pH

O pH foi avaliado em três pontos diferentes (superfícies opostas e lateral) da amostra, com um potenciômetro digital (previamente calibrado com solução tampão de pH 7,0 e 4,0) com eletrodo para sólidos (marca Analion, modelo PH- 730, Brasil).

2.2.9.2 Análise de cor

Para a avaliação da cor foram feitas seis leituras em cada amostra, utilizando o sistema de leitura CIE (Commission Internationale d'Eclairage) L*, a*, b*. Os parâmetros de cor L*, a* e b* foram determinados através de um colorímetro (Hunterlab, Miniscan EZ), com observador de 10° e iluminante D65. O componente L* corresponde a luminância, o qual mede a variação da luminosidade na faixa de zero (preto) a 100 (branco). O parâmetro a* define a cor vermelha para valores positivos (+a*) e a cor verde para valores negativos (-a*). O componente b* define a cor amarela para valores positivos (+b*) e a cor azul para valores negativos (-b*). A variação da cor foi determinada através da Equação 2.1, assumindo como referência a cor da carne *in natura*.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2} \quad (2.1)$$

em que ΔL^* , Δa^* e Δb^* são os valores das diferenças de L*, a* e b* da amostra em relação a um padrão de cor (carne *in natura*) (MINOLTA, 2007). Os valores de diferença de cor foram comparados com a escala de variação da diferença total de cores, Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Escala de variação da diferença total de cor.

Fonte: Konica Minolta Sensing, 1998.

ΔE^*	Diferença total de cor
< 0,2	Imperceptível
0,2 a 0,5	Muito pequena
0,5 a 1,5	Pequena
1,5 a 3,0	Distinguível
3,0 a 6,0	Facilmente distinguível
6,0 a 12,0	Grande
> 12	Muito grande

2.2.9.3 Umidade

A umidade (X_a) das amostras *in natura* e submetidas a diferentes técnicas de salga foi determinada em estufa (TECNAL-TE 394/2) de secagem a 105 °C até massa constante, de acordo com o método gravimétrico da AOAC (2007) (ISO R-1442).

2.2.9.4 *Atividade de água*

A atividade de água (a_w) é definida pela razão entre a pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura (Fellows, 2000). A a_w nas amostras submetidas aos diferentes processos de salga foi determinada através de um higrômetro digital (Decagon Devices inc., Pullman, Aqualab Model Series 3). Este tem como princípio de funcionamento a técnica do ponto de orvalho, em que o espelho é resfriado até que se forme o orvalho e a célula fotoelétrica detecta o ponto exato da primeira condensação no espelho.

2.2.9.5 *Determinação de cloretos*

O teor de cloretos das amostras foi determinado com um analisador automático de cloretos (Cole Parmer, modelo 926, USA), de acordo com a metodologia apresentada por Aliño et al. (2011). Para a realização da análise foram homogeneizadas 2 g da amostra triturada em água destilada em um homogeneizador Ultra Turrax (IKA, T25 Digital IKA) a 10.000 rpm por três minutos. Em seguida, a solução obtida foi transferida para um balão volumétrico e completado o volume de 200 mL com água destilada. Essa solução (amostra desfibrilada + água destilada) foi centrifugada (Centrífuga Sigma, modelo 4k15) a 9.000 rpm por 10 minutos e uma alíquota de 500 µl do sobrenadante foi analisada no analisador de cloretos.

Os resultados foram obtidos em mg de $\text{Cl}^- \text{L}^{-1}$ de solução. A partir desse valor foi calculado o teor de cloretos (X^{Cl^-}) e a concentração de NaCl (X^{NaCl}) na amostra de acordo com as Equações 2.2 e 2.3, respectivamente:

$$X^{\text{Cl}^-} = \left(\frac{L \cdot V}{m} \right) \cdot 100 \quad (2.2)$$

em que X^{Cl^-} é o teor de íons cloro (g 100 g⁻¹ de amostra), L é a leitura fornecida pelo equipamento (mg L⁻¹), V é o volume (L) da solução (amostra + água destilada) e m é a massa da amostra (g).

$$X^{NaCl} = \frac{X^{Cl} \times 58,44}{35,45} \quad (2.3)$$

em que X^{NaCl} é a concentração de cloreto de sódio ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ da amostra), 58,44 a massa molar do cloreto de sódio em g mol^{-1} e 35,45 a massa molar do cloreto em g mol^{-1} .

2.2.9.6 Determinação de sódio e potássio

Após a determinação da umidade, as amostras foram cuidadosamente carbonizadas em fogareiro elétrico e incineradas em uma mufla (Quimis, modelo Q318M) à temperatura de $550 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 horas (até apresentarem coloração branca). Posteriormente foi adicionado 1 mL de ácido clorídrico com concentração de $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ às cinzas e a solução resultante foi filtrada em papel filtro (Qualit. 80g). O filtrado foi recolhido em balão volumétrico de 100 mL e completado o volume com água destilada. Os teores de sódio e potássio nas amostras foram determinados a partir de uma alíquota do filtrado obtido (convenientemente diluída) em um fotômetro de chama dotado de filtros interferenciais (Micronal, modelo B462), segundo a técnica descrita pela AOAC (2007). O resultado fornecido pelo equipamento foi convertido em concentração mássica ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) através de interpolação da curva padrão de calibração construída para cada um dos íons. A curva de calibração para o ensaio foi estabelecida usando um conjunto de soluções padrões de cloreto de sódio e cloreto de potássio com concentrações de 1, 2, 5 e $10 \text{ mg de NaCl e KCl L}^{-1}$ de solução.

2.2.9.7 Determinação do volume real, aparente e porosidade das amostras de carne

O volume real (V_r) das amostras de carne bovina foi determinado através de um picnômetro a gás (ar comprimido), construído no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI-UFSC), de acordo com metodologia proposta por Sereno et al. (2007) e o volume aparente (V_a) das amostras foi determinado por deslocamento de volume em solução de n-heptano. Com os valores dos volumes reais e aparentes foi determinada a porosidade (ϵ), conforme Equação 2.4.

$$\varepsilon = 1 - \frac{V_r}{V_a}; \quad \varepsilon = 1 - \frac{\rho_r}{\rho_a} \quad (2.4)$$

em que ρ_r é a densidade real e ρ_a é a densidade aparente.

2.2.10 Parâmetros do processo

Os parâmetros determinados em cada processo de salga foram a perda de água (*Water Loss - WL*), perda de massa total (*Mass Loss - ML*) e ganho de sal (NaCl e KCl) (*Salt Gain - SG*), de acordo com as Equações 2.5, 2.6 e 2.7, respectivamente.

$$WL = \frac{(M^0 X_a^0) - (M X_a)}{M^0} \times 100 \quad (2.5)$$

$$ML = \frac{M^0 - M}{M^0} \times 100 \quad (2.6)$$

$$SG = \frac{(M X^{NaCl, KCl}) - (M^0 X_0^{NaCl, KCl})}{M^0} \times 100 \quad (2.7)$$

em que M^0 é a massa da amostra no tempo inicial ($t = 0$), M é a massa após um tempo t de processo, X_a e $X^{NaCl, KCl}$ representam o teor de água e o teor de sal (NaCl e KCl), respectivamente, após um tempo t de processo e X_a^0 e $X_0^{NaCl, KCl}$, os teores iniciais de água e sal (NaCl e KCl) na amostra (em $t = 0$).

2.2.10.1 Eficiência do processo

A eficiência (E) do processo de desidratação dos cortes de carne bovina por salga foi considerada como a razão entre a perda de

água e o ganho de sólidos (sal), de acordo com a Equação 2.8 (Borin et al., 2008).

$$E = \frac{WL}{SG} \times 100 \quad (2.8)$$

2.2.11 Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas através do uso do *software* Statistica® 7.0. Para verificar a existência de diferença significativa entre os parâmetros determinados nas diferentes técnicas de salga estudadas foi realizada uma análise de variância simples (ANOVA *one way*). Nos casos em que houve diferença significativa entre as respostas (dos parâmetros analisados) foi aplicado o teste de *Tukey*, com um nível de significância de 5%.

2.3 Resultados e Discussões

2.3.1 Caracterização físico-química da carne bovina *in natura*

Os valores médios das propriedades físico-químicas das amostras de carne bovina *in natura* são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Caracterização físico-química das amostras de carne bovina *in natura*.

Propriedades	Valores \pm Desvio padrão
Umidade (g de água 100 g ⁻¹ amostra)	74,68 \pm 1,32
Atividade de água	0,99 \pm 0,00
pH	5,42 \pm 0,14
Sódio (g de Na ⁺ 100 g ⁻¹ de amostra)	0,04 \pm 0,01
Potássio (g de K ⁺ 100 g ⁻¹ de amostra)	0,31 \pm 0,05

Os valores obtidos para os parâmetros umidade, atividade de água e pH são semelhantes aos encontrados por Alves et al. (2010) em amostras de carne bovina *in natura*, sendo esses de 74,01 \pm 1,61 g de água 100 g⁻¹ amostra para a umidade, 0,99 para a atividade de água e 5,65 para o pH. Os teores de sódio e potássio obtidos são similares aos valores reportados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA/UNICAMP, 2011), os quais são de 0,05 g de Na⁺ 100 g⁻¹ de amostra e de 0,23 g de K⁺ 100 g⁻¹ amostra para carne bovina (acém cru, sem gordura). Essa pequena diferença entre os valores pode ser atribuída a fatores como idade, sexo e alimentação que variam de um animal para outro.

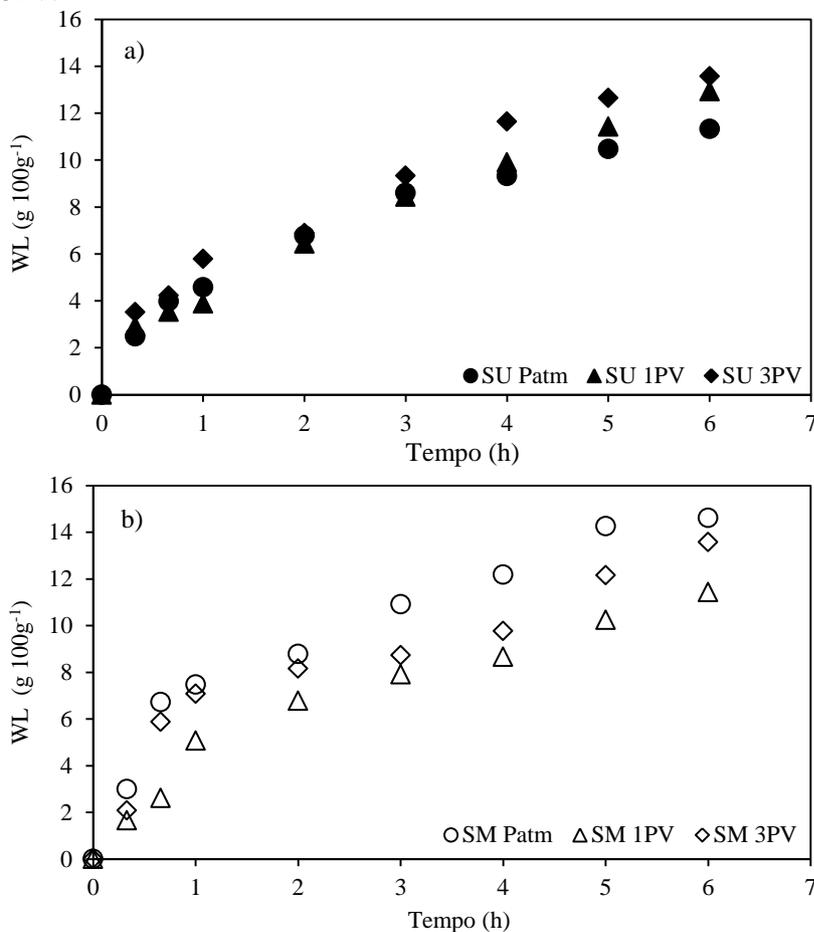
2.3.2 Influência da aplicação de pulsos de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida e mista de cortes de carne bovina.

Para facilitar a comparação da influência da aplicação de pulsos de vácuo na cinética de transferência de massa durante a salga de cortes de carne bovina, as cinéticas de salga úmida (SU) e salga mista (SM) com aplicação de um pulso de vácuo (IPV) e três pulsos de vácuo

(3PV) são apresentadas juntamente com as cinéticas de salga úmida e mista à pressão atmosférica (P_{atm}).

As cinéticas de perda de água (WL), ganho de sal (SG), perda de massa total (ML) e a variação da a_w dos cortes de carne bovina submetidos às diferentes técnicas de salga (úmida e mista à P_{atm} , com 1PV e 3PV) são apresentadas nas Figuras 2.6, 2.8, 2.9 e 2.10, respectivamente. Os valores apresentados representam a média de dois ensaios experimentais com triplicata de amostra (média de seis amostras).

Figura 2.6 Cinéticas de perda de água (WL) pelos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à Patm, com 1PV e 3PV.



A WL dos cortes de carne observada nas Figuras 2.6a e 2.6b com o tempo ocorre devido à ação das elevadas forças osmóticas, decorrente da alta concentração de NaCl (fenômeno denominado *saling-out*). A influência dos pulsos de vácuo na WL pelas amostras, tanto na salga úmida quanto na mista é mais evidente depois de três horas de processo.

Na Figura 2.6a pode-se observar que a aplicação de 1PV e 3PV ocasionou maior perda de água pelas amostras, em relação às amostras submetidas à salga úmida à Patm. O aumento da *WL* pelas amostras com aplicação de 1PV e 3PV foi 14% (12,9 g 100g⁻¹) e 20% (13,6 g 100g⁻¹) maior, respectivamente, em comparação ao tratamento à Patm (11,3 g 100g⁻¹). Essa maior *WL* pelas amostras com 1PV e 3PV pode ser atribuída ao aumento dos espaçamentos entre os feixes de fibras e entres as fibras musculares, ocasionado pela aplicação de vácuo (McDonald e Sun, 2001). A aplicação de vácuo ocasiona a entrada de solução salina nos espaços entre as fibras e entre os feixes de fibras da amostra, como ilustra a Figura 2.7. Assim, aumentando a área de contato entre a amostra e a solução salina, favorecendo a transferência de massa. Consequentemente, provocando uma maior perda de água ao longo do processo em função da alta concentração de sal na solução.

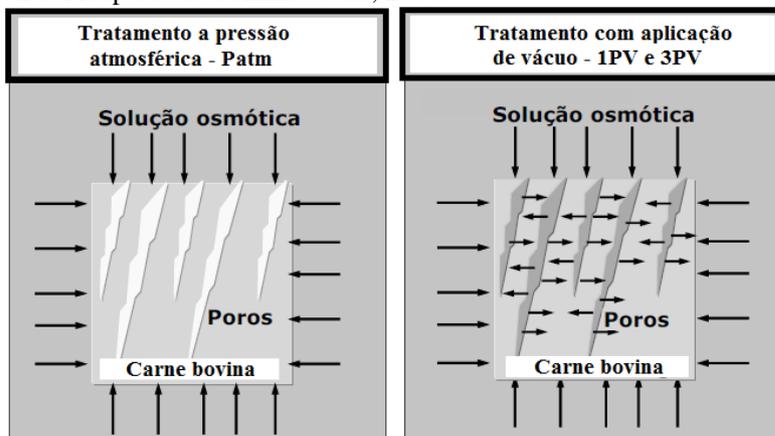
Na salga mista (Figura 2.6b), os valores de *WL* pelas amostras foram de 14,6 g 100 à Patm, 11,5g 100 g⁻¹ com 1PV e 13,6g 100 g⁻¹ com 3PV, após seis horas de processo. Isso representa uma redução na *WL* de 21,2% quando aplicado 1PV e 6,8% com 3PV. Esses resultados demonstram uma tendência das amostras submetidas a salga mista com aplicação de pulso de vácuo em perder menos água que às submetidas a salga à Patm. Essa menor *WL* é atribuída à maior impregnação da solução salina e consequentemente maior impregnação de água nas amostras durante a aplicação de vácuo. Ainda na Figura 2.6b verifica-se uma maior *WL* pelas amostras submetidas a salga mista com 3PV que as amostras submetidas a 1PV, esse comportamento pode estar associada à influência dos repetidos ciclos de alteração da pressão que modificam a estrutura das amostras favorecendo a liberação de água.

Os maiores valores de *WL* foram observados nas amostras submetidas à salga mista à Patm (Figura 2.6b). Essa maior *WL* pelas amostras na salga mista que na úmida à Patm é atribuída à menor impregnação da solução salina na amostra e ao contato direto com sal na etapa de salga seca (utilizada na técnica de salga mista), que apresenta menor atividade de água (0,2) que a solução salina (0,75) utilizada na salga úmida.

Os resultados de *WL* em cortes de carne bovina indicam que a aplicação de pulsos de vácuo é uma alternativa que pode ser aplicada na salga mista quando se busca uma menor perda de água e na salga úmida quando se visa maior perda de água (desidratação).

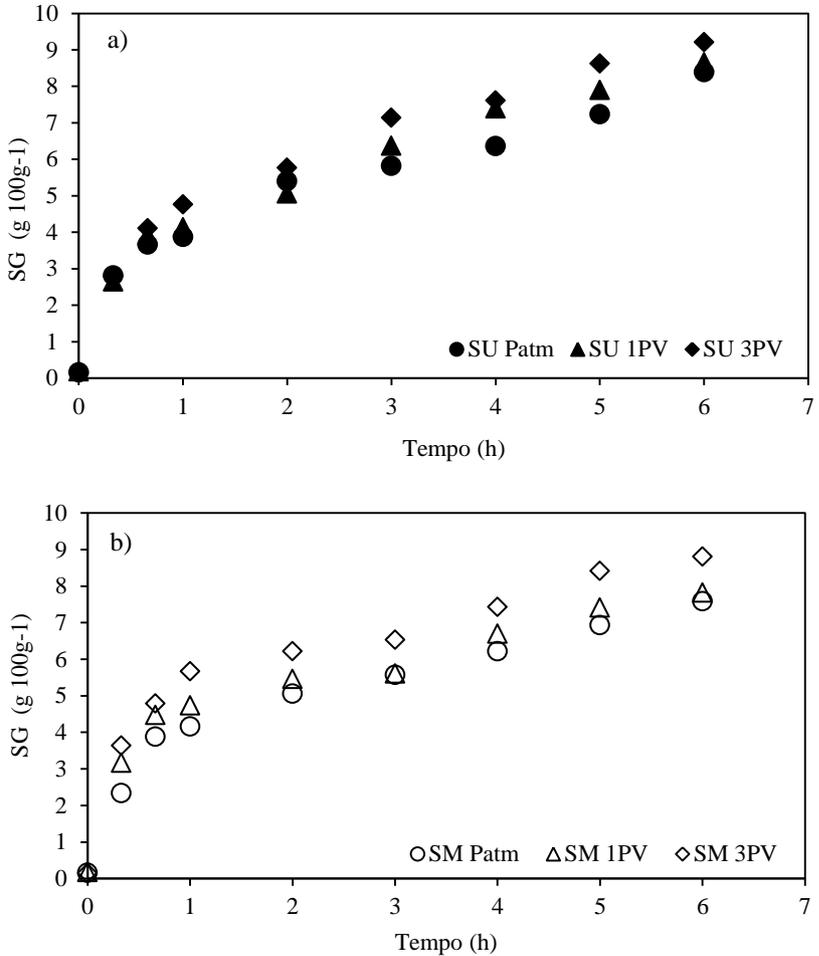
Figura 2.7 Área disponível para a transferência de massa na salga de cortes de carne bovina (a) a pressão atmosférica e (b) com pulso de vácuo.

Fonte: Adaptado de Schmidt et al., 2008.



As cinéticas de ganho de sal (SG) pelos cortes de carne bovina submetidos à salga úmida e à salga mista à Patm e com aplicação de 1PV e 3PV são apresentados na Figura 2.8.

Figura 2.8 Cinéticas de ganho de sal (SG) pelos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à P_{atm} e com 1PV e 3PV.



Como esperado, os valores de ganho de sal (SG) apresentados nas Figuras 2.8a e 2.8b aumentaram com o tempo. Esse aumento se deve à difusão do sal devido aos gradientes de concentração entre a solução e fase líquida do produto e à entrada da solução salina no interior das amostras pela ação das forças capilares e pela ação das variações de pressão provocada pela aplicação de pulsos de vácuo.

Na Figura 2.8a pode-se observar que as cinéticas de SG pelas amostras submetidas à salga úmida com aplicação de 1PV e 3PV apresentam os maiores valores de SG , quando comparadas a cinética de SG à Patm. Ao final de seis horas de salga, o aumento no SG foi maior em 3,2% e 9,8% com a aplicação de 1PV e 3PV, respectivamente, em relação a salga úmida à Patm ($8,38 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$).

A influência da aplicação de 1PV e 3PV no aumento do SG também pode ser observada nas cinéticas de salga mista, Figura 2.8b. Essa influência fica mais evidente após a terceira hora de salga. Ao final do processo, o SG pelas amostras foi maior em 3,2% com aplicação de 1PV e 24% com 3PV, em comparação ao SG à Patm que foi de $7,58 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

O SG pelas amostras submetidas à salga úmida à Patm (Figura 2.8a) foi aproximadamente 9,5% maior que ao observado para as amostras submetidas à salga mista também à Patm (Figura 2.8b). Esse maior SG é atribuído à maior impregnação da solução salina no interior da amostra, como comentado anteriormente. Aiura et al. (2008) observaram um comportamento diferente entre a salga úmida e seca em amostras de filé de tilápia. Os autores relatam que as amostras submetidas ao processo de salga úmida (salmoura saturada de NaCl) demoraram o dobro do tempo para atingir a concentração de 14% de cloreto de sódio, em relação às amostras submetidas ao processo de salga seca.

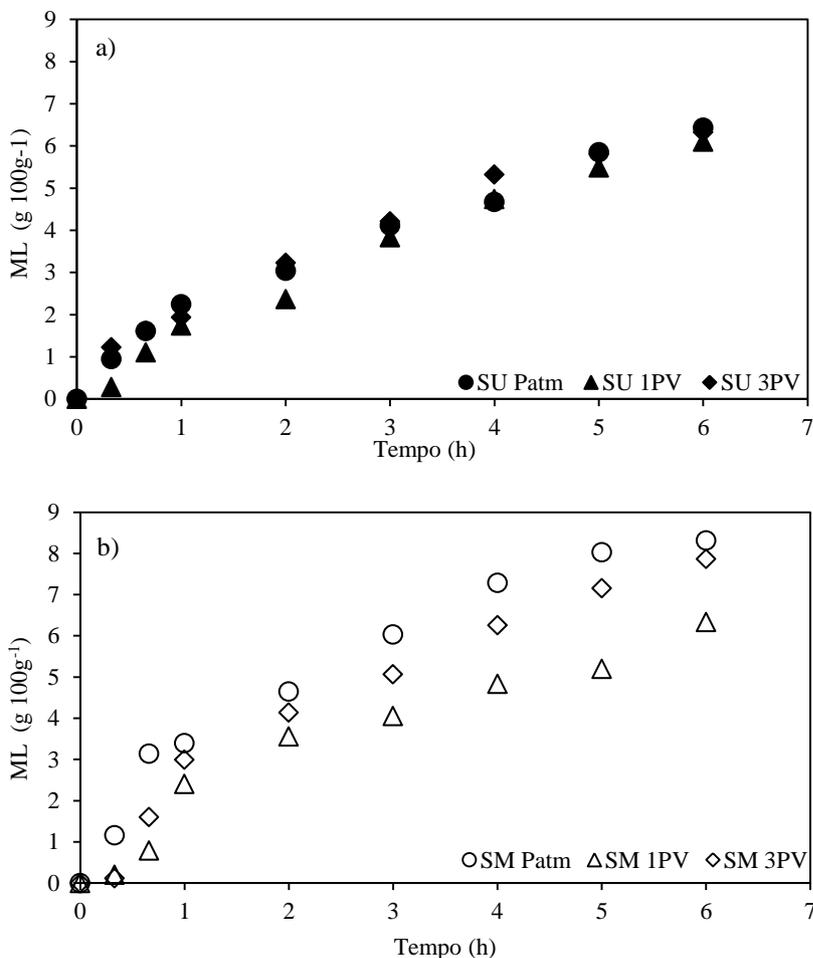
Os resultados demonstram que a aplicação de vácuo tem influência no aumento SG tanto na salga úmida quanto na salga mista, resultando em uma diminuição no tempo de processo. Esse aumento no SG pode ser atribuído ao preenchimento dos espaços intercelulares pela solução externa, provocando o aumento da área disponível para a transferência de massa (Fito et al., 2001) como mostrado na Figura 2.7. Destaca-se que as amostras submetidas a salga úmida permanecem em contato com a solução salina até o final do processo, enquanto que na salga mista esse contato foi de apenas 20 minutos. Após esse período, as amostras foram mantidas em contato direto com o sal, que impregna na amostra basicamente pelo mecanismo de difusão, que é mais demorado. Exemplificando a influência da aplicação de pulsos de vácuo: para um SG de aproximadamente 3% pelos cortes de carne bovina são necessários aproximadamente 33, 31 e 28 minutos de salga, quando submetidos à salga úmida à Patm, 1PV e 3PV, respectivamente. Esses

resultados demonstram que a aplicação de 1PV e 3PV reduz o tempo de salga em 6% e 15%, respectivamente, em comparação com a salga úmida à Patm.

O aumento do SG pelas amostras devido à aplicação de pulsos de vácuo também foi observado nos trabalhos de Deumier et al. (2003b) e Schmidt et al. (2008a). Deumier et al. (2003b) relataram que a fração da salmoura impregnada nas amostras (peru e frango) aumentou em 10% quando aplicado vácuo no processo de salga (úmida) e Schmidt et al. (2008a) observaram um aumento de 25% no SG pelas amostras (carne de frango) nos processos de salga úmida com aplicação de vácuo. Barat et al. (2003) também observaram um aumento significativo no ganho de sal por filés de bacalhau quando imersos em solução saturada de NaCl com a aplicação de vácuo de 50 mbar por 30 minutos.

As cinéticas de perda de massa total (ML) pelos cortes de carne bovina durante os processos de salga úmida e mista à Patm e com 1PV e 3PV são apresentadas na Figura 2.9.

Figura 2.9 Cinética de perda de massa total (ML) pelos cortes de carne bovina submetidos a salga (a) úmida e (b) mista à Patm, com 1PV e 3PV.



No sistema em estudo, além da transferência de água e sal, também ocorre um fluxo de proteínas (solúveis em soluções salinas) do interior da amostra para o exterior (Pardi et al., 2001; Damodaran et al., 2010). A ML pelas amostras ($ML > 0$) se deve à perda de água e à solubilização de proteínas sarcoplasmáticas e miofibrilares.

Na Figura 2.9a pode-se observar que os valores de perda de massa (ML) pelas amostras submetidas a salga úmida à Patm, com 1PV e 3PV foram semelhantes. Esse comportamento se deve ao equilíbrio da perda de água e o ganho de sal entre às técnicas de salga (Patm, 1PV e 3PV) aplicadas, assim como a solubilização das proteínas. Barat et al. (2003) também observaram uma pequena alteração na ML em files de bacalhau quando submetidos a salga úmida em solução saturada de NaCl à Patm em comparação com a aplicação de pulso de vácuo de 50 mbar por 30 minutos.

Por outro lado, na salga mista (Figura 2.9b) a diferença entre as técnicas aplicadas é mais perceptível e verifica-se uma tendência das amostras apresentarem maior perda de massa quando submetidas à salga à Patm. Ainda na Figura 2.9b, nota-se que aplicação de 1PV e 3PV tende a reduzir a ML pelas amostras em relação à Patm. Esse comportamento se deve à menor WL e ao aumento do SG pela aplicação de pulsos de vácuo, como mostrado anteriormente. Os maiores valores de ML foram verificados para amostras submetidas à salga mista à Patm (Figura 2.9b), devido à maior WL (Figura 2.6b) e menor SG (Figura 2.8b).

A influência do método de salga (úmida e mista) na perda de proteínas solúveis pôde ser avaliada através da diferença entre a perda de massa total experimental e a teórica. Esta última é calculada através do somatório da perda de água e do ganho de sal. Após 6 horas de processo, essa diferença foi de aproximadamente 3,5% para a salga úmida e de 1,3% para a salga mista. Esses resultados indicam que a salga úmida tem maior influência na solubilização das proteínas.

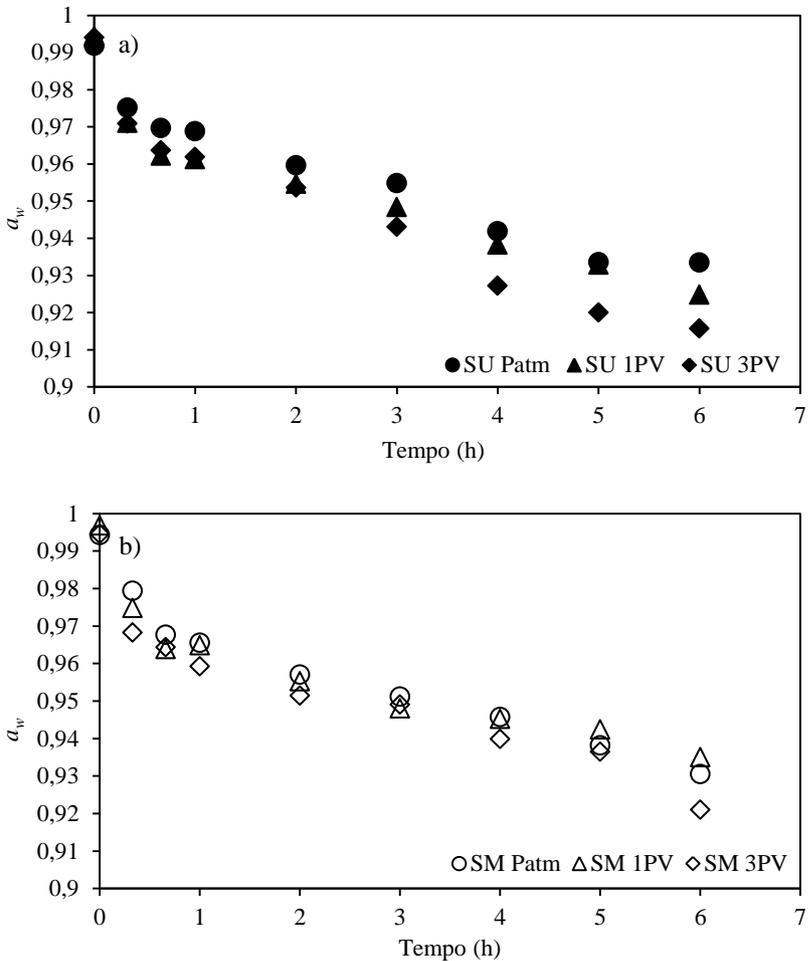
As proteínas solúveis só têm sua solubilidade diminuída depois de atingirem a concentração de NaCl de 8 a 10%, decorrente do efeito *salting-out* que causa a desidratação das mesmas (Sanchez, 1965). Nos processos de salga estudados, a concentração de sal nas amostras permaneceu durante todo o tempo na faixa de solubilização, justificando a alta perda das proteínas solúveis das amostras na salga úmida, devido a maior área de contato da amostra com a solução salina.

Segundo Borin et al. (2008), a eficiência dos tratamentos osmóticos em relação a hidratação e/ou desidratação pode ser calculada através da relação entre a perda de água e ganho de sal (Equação 2.8). Quanto maior o valor da eficiência maior é a desidratação, ou seja, maior é a perda de água pelos cortes de carne bovina para a solução. A eficiência da salga úmida com aplicação de 1PV e 3PV aumentou, em relação à Patm, de 1,35% para 1,49 e 1,41%, respectivamente. Na salga

mista a aplicação de vácuo ocasionou uma diminuição da eficiência em relação à P_{atm} de 1,92% para 1,45% com 1PV e 1,43% com 3PV. A diminuição da eficiência nos processos de salga mista se deve à menor WL e ao maior SG pelas amostras, causada pela aplicação de pulsos de vácuo.

A variação da atividade de água (a_w) dos cortes de carne bovina durante a salga úmida e mista à P_{atm} , com 1PV e 3PV pode ser avaliada na Figura 2.10.

Figura 2.10 Cinética da variação da a_w nos cortes de carne bovina submetidos à salga (a) úmida e (b) mista à Patm, com aplicação de 1PV e 3PV.



Nas Figuras 2.10a e 2.10b observa-se que os valores da a_w diminuíram com o tempo de salga. A redução da a_w está relacionada com a interação das moléculas de água com as proteínas do músculo e com o sal presente no interior das amostras de carne. Isso pode ser verificado através das amostras submetidas à salga úmida com 3PV em

que se observa que a menor a_w é resultado da maior WL (Figuras 2.6a) e do maior SG (Figuras 2.8a). Também se observa que o SG tem maior influência na redução da a_w do que a WL . Esse comportamento pode ser verificado através da Figuras 2.10b comparando-se as cinéticas das amostras submetidas a salga mista à Patm com as submetidas à salga mista com 3PV. As amostras submetidas à salga mista com 3PV apresentam menor a_w , resultado do maior ganho de sal (Figuras 2.8b), mesmo apresentando menor perda de água (Figura 2.6b) que as amostras submetidas à salga mista à Patm.

A aplicação de 1PV e 3PV na salga úmida (Figura 2.8a) apresenta uma tendência em reduzir os valores de a_w em comparação a salga úmida à Patm, enquanto que na salga mista (Figura 2.9b) essa tendência é menos perceptível. Esse comportamento é resultado da maior impregnação da solução salina nas amostras, como explicado anteriormente. Os resultados de maior SG e menor a_w observados nos cortes de carne bovina submetidos a salga (úmida e mista) com 3PV indicam que a aplicação de pulsos de vácuo pode ser uma alternativa a ser aplicada para a redução de tempo de processo.

Na Tabela 2.3 são apresentados os valores médios de pH e dos parâmetros de cor da carne *in natura* e das amostras submetidas a salga úmida e mista à Patm e com 1PV e 3PV, ao final de seis horas. A variação de cor foi determinada com base nos parâmetros de cor da amostra *in natura*.

Tabela 2.3 Resultados das análises de pH e parâmetros de cor das amostras *in natura* e das amostras submetidas à salga úmida e mista à Patm e com aplicação de 1PV e 3PV.

Amostras	pH	Cor			ΔE^*
		L*	a*	b*	
<i>in natura</i>	5,48±0,11 ^a	39,65±2,25 ^a	15,87±2,30 ^a	13,45 ±2,03 ^a	-
Salga úmida					
Patm	5,26 ± 0,14 ^a	40,59 ± 2,17 ^a	7,44 ± 0,82 ^c	7,00 ± 2,16 ^b	11,53± 1,08 ^b
1PV	5,40 ± 0,12 ^a	39,11 ± 1,51 ^a	6,05 ± 0,62 ^d	5,77 ± 0,98 ^c	13,29 ± 0,83 ^a
3PV	5,36 ± 0,12 ^a	41,68 ± 1,39 ^a	6,92 ± 0,75 ^{cd}	8,54 ± 1,13 ^b	14,15 ± 1,01 ^a
Salga mista					
Patm	5,27 ± 0,03 ^a	40,44 ± 2,44 ^a	10,76 ± 0,82 ^b	6,96 ± 0,98 ^b	8,42 ± 1,10 ^c
1PV	5,29 ± 0,12 ^a	39,90 ± 1,68 ^a	10,45 ± 0,65 ^b	7,64 ± 0,47 ^b	7,30 ± 0,86 ^c
3PV	5,38±0,14 ^a	40,35 ± 2,33 ^a	10,89 ± 1,62 ^b	7,75 ± 1,63 ^b	6,71 ± 0,92 ^c

Nota: Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Os valores médios de pH dos cortes de carne bovina *in natura* e submetidos a salga úmida e mista à Patm, com 1PV e 3PV não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre si (Tabela 2.3). Alves et al. (2010), no estudo da “carne soleada do Pantanal”, também não observaram diferença significativa nos valores de pH no período de aproximadamente seis horas de salga. De acordo com Furukawa et al. (2004), essa insensibilidade do pH à presença do cloreto de sódio é, provavelmente, consequência do efeito tampão exercido pelas proteínas da carne. Os compostos que mais contribuem para esse efeito (na faixa de pH de 5,5 a 7,0) são os fosfatos, dipeptídeos carnosina e anserina e imidazol encontrado nos resíduos de histidina das proteínas miofibrilares. Segundo Kyla-Puhjuet al. (2004), as proteínas miofibrilares são responsáveis por cerca da metade da capacidade de tamponamento da carne na faixa de pH 5,5-7,0.

Os valores dos parâmetros de cor L*, a* e b* para a carne *in natura* apresentados na Tabela 2.3 são semelhantes aos encontrados por Amaral (2012) em cortes de carne bovina (contrafilé) após 24 horas abate e por Facco (2002) em carne bovina resfriada. Amaral (2012) encontrou valores de aproximadamente 41,0 para L*, 17,0 para a* e 10,0 para b* e Facco (2002) valores de 43,0 para L*, 22,2 para a* e 16,0 para b*. A variação dos valores encontrados para os parâmetros de cor pode ser atribuída ao processamento (pré e pós abate), corte analisado, embalagem, armazenamento entre outros fatores que interferem/alteram a cor da carne (Mancini e Hunt, 2005), como também na concentração

da mioglobina (Pereda et al., 2005; Felício, 2002). Não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores do parâmetro L^* da amostra *in natura* e das submetidas aos diferentes tratamentos de salga. Por outro lado, os parâmetros de cor a^* e b^* das amostras submetidas às diferentes técnicas de salga apresentaram uma diminuição significativa ($p < 0,05$) em relação à amostra *in natura*.

Sabadini et al. (2001) avaliaram a alteração da cor em carne bovina durante o processo de salga úmida e seca a 10 °C à Patm em relação a amostra de carne *in natura*. Os autores também observaram uma diminuição nos valores dos parâmetros cor. Essa diminuição foi de 6,10, 4,56 e 5,36 unidades para os parâmetros L^* , a^* e b^* , respectivamente, na salga úmida. Enquanto, que na salga seca o parâmetro L^* se manteve constante e os parâmetros a^* e b^* diminuíram 10 e 1 unidade, respectivamente.

O efeito das técnicas de salga na alteração da cor da carne pode ser avaliado pela variação de cor (ΔE), Tabela 2.3. As amostras submetidas aos diferentes processos de salga apresentaram uma diferença de cor entre grande e muito grande, utilizando a Tabela 2.1 para a comparação. Os maiores valores de ΔE foram observados na salga úmida, indicando que essa tem maior influência na alteração da cor das amostras que a salga mista. Essa maior variação na cor se deve basicamente à maior redução sofrida pelo parâmetro de cor a^* na salga úmida. A diminuição do valor de a^* (cor vermelha) pode ser atribuída à interação do sal com os pigmentos da carne (mioglobina). A presença do cloreto de sódio na carne atua como um pró-oxidante, acelerando a oxidação da oximioglobina, deslocando o sentido da reação para a formação da metamioglobina de coloração marrom/castanha clara (Pereda et al., 2005). Em contato com o sal os íons ferrosos (Fe^{+2}) do grupo heme da mioglobina/oximioglobina presentes na carne são oxidados e se convertem em íons férricos (Fe^{+3}) (Felício, 1999). Essa redução na cor vermelha da carne quando submetida à salga úmida é maior, devido à maior área de contato da amostra com a solução salina. Assim, contribuindo para a formação da metamioglobina, uma vez que a formação desta é favorecida em condições de baixas pressões de oxigênio (Roça, 2000) e na salga úmida a concentração de oxigênio se deve basicamente ao que se encontra diluído na solução salina.

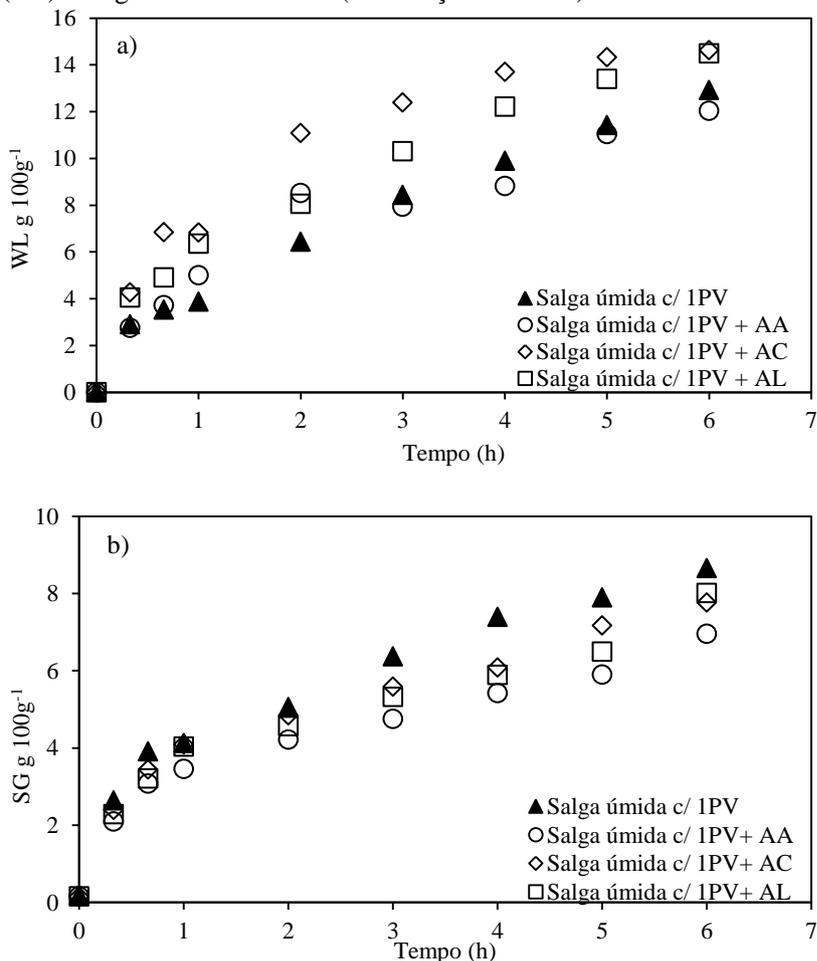
A aplicação 1PV e 3PV nos processos de salga úmida aumentou significativamente ($p < 0,05$) a ΔE das amostras, em comparação às submetidas à Patm. Esse aumento pode ser atribuído, como comentado anteriormente (Figura 2.8), à maior impregnação da

solução salina nos espaços entre as fibras e entre os feixes de fibras, aumentando a área de contato (entre a solução salina e amostras de carne) e contribuindo para a formação da metamioglobina e para a solubilização da mioglobina. Isso justifica a maior diminuição do parâmetro a^* nos processos de salga úmida com 1PV e 3PV.

2.3.3 Efeito da adição de ácidos associados a um pulso de vácuo na transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina

Em continuação ao estudo da transferência de massa durante os processos de salga dos cortes de carne bovina, os ácidos (acético, cítrico e láctico) foram adicionados à salmoura utilizada na salga úmida realizada com 1PV. Este processo de salga foi selecionado com base nos resultados apresentados anteriormente no item 2.3.2, em que se observou que os maiores valores de SG e menores valores de a_w foram obtidos pelas amostras submetidas à salga úmida associada à aplicação de vácuo. Para melhor avaliar a influência dos ácidos na transferência de massa dos cortes de carne bovina durante os processos de marinação ácida, as cinéticas resultantes desses processos são apresentadas juntamente com as da salga úmida com 1PV apresentadas anteriormente (item 2.3.2). Na Figura 2.11 são apresentadas as cinéticas de perda de água (WL) e de ganho de sal (SG) e na Figura 2.12 as de perda de massa (ML) e variação da a_w , resultantes dos processos de marinação com ácido acético (AA), ácido cítrico (AC), ácido láctico (AL) e sem adição de ácido (salga úmida com 1PV).

Figura 2.11 Cinéticas de (a) perda de água (WL) e (b) ganho de sal (SG) pelos cortes de carne bovina submetidos aos processos de marinação com ácido acético (AA), ácido cítrico (AC), ácido lático (AL) e salga úmida com 1PV (sem adição de ácido).



Na Figura 2.11a observa-se que ao final de seis horas de salga, as amostras submetidas ao processo de marinação com AC e AL apresentaram os maiores valores de WL (aproximadamente 12% maior em relação a salga sem adição de ácido). O comportamento das

cinéticas de *WL* com adição do ácido cítrico e lático indicam que a presença desses tem efeito sinérgico com a alta concentração de sal, na *WL* pelas amostras ao longo do processo. Por outro lado, a adição do ácido acético parece ter comportamento contrário reduzindo a *WL* em aproximadamente 7%, quando comparado com a salga úmida sem adição de ácidos.

A maior *WL* pelas amostras submetidas à marinação com AC e AL, em relação ao AA pode ser atribuída: (i) à maior ação do ácido (cítrico e lático) na degradação do tecido conjuntivo e das membranas celulares, diminuindo a capacidade de retenção de água e a (ii) maior desnaturação das proteínas (pelo ácido cítrico e lático), mudando o equilíbrio químico proteína-proteína e proteína-água, que resulta em maior liberação de água (Tribuzi et al., 2014).

Medynski et al. (2000) também observaram uma maior perda de água em cortes de carne bovina e suína, quando imersas em salmouras em que estavam presentes simultaneamente ácido lático (1,5%) e NaCl (2,0%), em relação às amostras imersas em soluções contendo somente ácido ou somente NaCl nas mesmas concentrações.

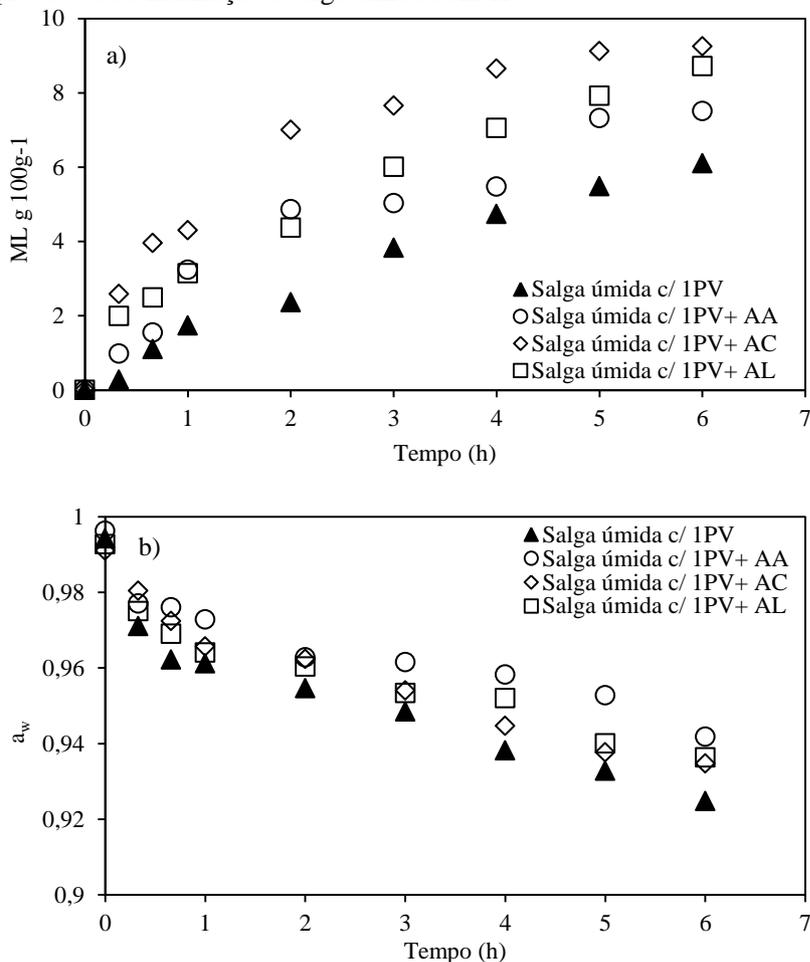
Goli et al. (2011) investigaram o efeito do ácido acético na transferência de água durante a marinação de carne de peru e observaram uma menor perda de água pelas amostras quando submetidas ao processo de salga com altas concentrações de NaCl na presença do ácido acético. Os autores atribuem esse efeito a adição de prótons nos sítios ativos das proteínas, que aumenta a carga positiva dos grupos laterais das proteínas, provocando uma queda nas forças de atração eletrostáticas entre as proteínas miofibrilares. Essa redução das forças de atração abre a matriz da proteína da carne e combinada com o enfraquecimento dos tecidos conjuntivos que são hidratados, ocasionam o aumento da capacidade de retenção de água e conseqüentemente reduz a perda de água em relação à salga sem a adição do ácido.

Em relação ao *SG*, pode-se observar na Figura 2.11b que as amostras submetidas aos processos de marinação com adição dos ácidos AA, AC e AL apresentaram uma redução no *SG* de aproximadamente 19,5%, 10,3% e 7,4 %, respectivamente, quando comparado com os cortes de carne bovina submetidos ao processo de salga úmida com 1PV. O menor *SG* das amostras submetidas ao processo de marinação com ácido (AA, AC e AL) pode ser decorrente da maior desidratação (na superfície das amostras), devido à desnaturação das proteínas,

provocando um enrijecimento superficial das mesmas, dificultando a impregnação do sal.

Chang et al. (2010) observaram que a adição de ácidos orgânicos fracos (AA, AC e AL) com concentração de 1,5 g de ácido 100 g⁻¹ de solução e 2 g de NaCl 100 g⁻¹ de solução de NaCl em amostras de carne bovina ocasionou um aumento na dureza, gomosidade e mastigabilidade em comparação à amostra controle (*in natura*). Os autores atribuem esse aumento à força iônica da solução de marinação. O aumento da força iônica (proteína-proteína) ocasiona a estabilização estrutural das fibrilas, devido ao aumento da rigidez da cadeia polipeptídica, causada pela formação de agregado de moléculas. Goli et al. (2011) estudaram a influência da adição do AA na transferência de sal durante o processo de marinação de carne de peru e também não observaram efeito significativo ($p > 0,1$) do AA no *SG* pelas amostras.

Figura 2.12 Cinética de (a) perda de massa total (ML) e (b) variação da atividade de água (a_w) pelos cortes de carne bovina submetidos aos processos de marinação e salga úmida com 1PV.



As amostras submetidas aos processos de marinação com adição de AA, AC e AL (Figura 2.12a) apresentaram uma perda de massa significativamente maior ($p < 0,05$) em comparação às salgadas sem adição de ácido. Esse aumento na ML ao final de seis horas de salga com adição de AA, AC e AL foram de aproximadamente 23%,

42% e 51%, respectivamente. Como comentado anteriormente, a maior *ML* é consequência da maior *WL* e menor *SG*. Uma vez, que o valor médio da *ML* é resultado da perda de água somada à solubilização das proteínas menos o ganho de sal.

Na Figura 2.12b verifica-se que a adição dos ácidos (AA, AC e AL) nos processos de marinação resultou em uma menor redução na a_w dos cortes de carne bovina em aproximadamente 2%, quando comparado aos submetidos à salga úmida sem adição de ácido, no final de seis horas de tratamento. A menor redução da a_w das amostras submetidas ao processo de marinação com ácido (AA, AC e AL) como comentado anteriormente, pode ser decorrente da maior perda de água superficial das amostras devido à desnaturação das proteínas. Essa desnaturação pode ter ocasionado o enrijecimento superficial, dificultando a saída de água do interior da amostra e a impregnação de sal, consequentemente impedindo a redução da a_w . Ainda, é possível observar novamente que a redução dos valores médios da a_w pelas amostras é mais influenciada pelo ganho de sal (Figura 2.11b) do que pela perda de água (Figura 2.11a). Neste estudo verificado pelas amostras de carne submetidas ao processo de marinação com ácido acético que apresentaram os maiores *WL*, porém menores valores de *SG* e menores valores de a_w .

Os resultados de eficiência, em relação à desidratação sofrida pelas amostras, nos processos de marinação com adição de AA, AC e AL foram maiores em 16,7%, 26,2% e 20,8%, respectivamente, em relação às amostras submetidas a salga sem adição de ácido. A maior eficiência se deve a maior *WL* e menor *SG* pelas amostras durante os experimentos. Na Tabela 2.4 são apresentados os resultados de análise de pH e dos parâmetros de cor para os processos de salga úmida com 1PV sem adição de ácido e de marinação com a adição dos ácidos orgânicos fracos (AA, AC e AL), ao final de seis horas de salga.

Tabela 2.4 Resultados das análises de pH e cor dos cortes de carne bovina submetidos à salga úmida com ácidos fracos e um pulso de vácuo.

Processo	pH	Cor		ΔE^*	
		L*	a*		b*
S/ ácido (1PV)	5,40±0,12 ^a	39,11±1,51 ^a	6,05±0,62 ^a	5,77±0,98 ^c	13,29±0,83 ^a
AA	5,36±0,17 ^a	40,70±2,31 ^a	6,69±0,52 ^a	9,55±1,27 ^a	9,23±2,28 ^a
AC	5,28±0,16 ^{ab}	40,45±1,44 ^a	6,75±0,43 ^a	10,70±0,72 ^{ab}	10,34±2,76 ^{ab}
AL	5,23±0,35 ^b	38,46±2,08 ^{ab}	7,13±0,49 ^a	9,99±2,20 ^{ab}	12,24±2,49 ^b

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Os cortes de carne bovina submetidos aos processos de marinação ácida (AA, AC e AL) e aplicação de 1PV apresentaram uma pequena redução no pH em relação às amostras *in natura* ao final de seis horas de experimento. Como comentado anteriormente, a pequena variação do pH está relacionada com o efeito tampão exercido pelas proteínas miofibrilares da carne. A desnaturação das proteínas (perda da estrutura quaternária e terciárias) expõe os sítios tituláveis das proteínas e carnes ricas em lactato, como a carne bovina, necessitam de uma quantidade mais elevada de ácido para reduzir o pH. As proteínas por serem formadas por aminoácidos, cujas cadeias laterais podem se ionizar, possuem a capacidade de se dissociar reversivelmente, liberando íons H^+ para neutralizar íons OH^- ou mesmo retirando íons H^+ do meio, evitando variações do pH no meio (Guerra, 2011). Goli et al. (2011) também observaram uma discrepância nos valores do pH da carne em relação ao pH da solução de marinação com ácido acético. Os autores ainda observaram que após cinco horas de processo, o pH da solução de marinação aumentou aproximadamente uma unidade. Esse aumento foi atribuído à capacidade tamponante das proteínas solubilizadas da carne ao longo da marinação.

A variação do pH da salmoura com AA, AC e AL observada no presente trabalho aumentou em média 0,40, 0,56 e 0,61 unidades, respectivamente, ao final de seis horas de salga. Um aspecto interessante a ser ressaltado é que as amostras submetidas à marinação com AC e AL apresentaram os menores valores de pH e também os maiores valores de perda de água (Figura 2.10a), ao final de seis horas de tratamento. Esse comportamento está coerente com a literatura, quando as proteínas são expostas a pH abaixo do ponto isoelétrico, a

sua carga positiva é neutralizada por íons cloreto, ocorrendo a redução da capacidade de retenção de água (Albaracin et al. 2011).

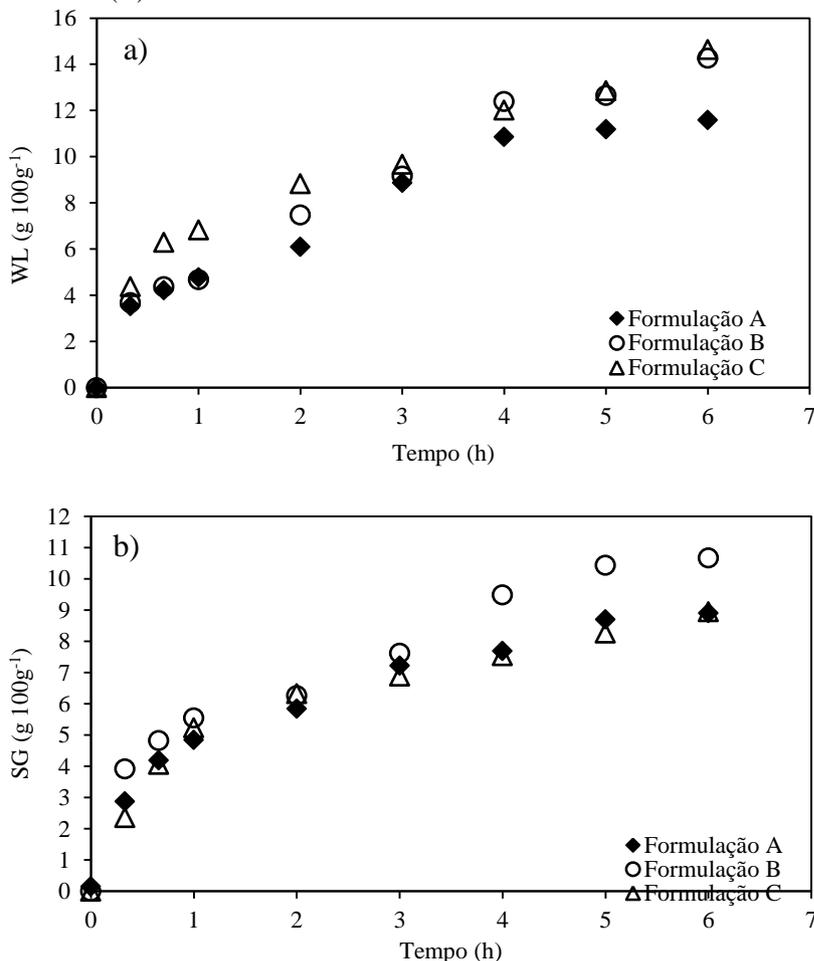
Na Tabela 2.4 pode-se observar que os processos de marinação ácida (AA, AC e AL) apresentaram influência significativa ($p > 0,5$) somente no parâmetro de cor b^* , em relação ao processo de salga sem adição de ácido (1PV). A variação de cor determinada nos processos de marinação ácida, em relação a salga úmida com 1PV sem ácido foi semelhante, oscilando entre uma diferença total de cor grande a muito grande.

No estudo de substituição parcial de NaCl por KCl será utilizado o processo de salga úmida com 3PV. A opção por este processo de salga teve como base os maiores valores de StG e menores valores de a_w pelas amostras em menor tempo de processo, quando comparado com os demais processos estudados (salga mista e úmida - à Patm, com 1PV e 3PV e marinação ácida – com adição de AA, AC e AL). A salga úmida com 3PV também será utilizada como pré-tratamento dos cortes de carne bovina para o estudo dos processos de secagem no Capítulo 3 do presente trabalho.

2.3.4 Influência da substituição parcial de NaCl por KCl na cinética de transferência de massa durante a salga úmida de cortes de carne bovina com três pulsos de vácuo

Para avaliar a influência da substituição do NaCl por KCl na cinética de transferência de massa (água e sal), durante a salga úmida dos cortes de carne bovina com 3PV, foram utilizadas três formulações de salmoura com concentração total de sal de 6 mol L^{-1} de solução: (A) 100% de NaCl ($\approx 6 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução), (B) 75% de NaCl e 25% de KCl ($\approx 4,5 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $1,5 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução) e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl ($\approx 3 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $3 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução). As cinéticas de perda de água (WL) e ganho de sal (SG) são apresentadas na Figura 2.13.

Figura 2.13 Cinética de (a) perda de água (WL) e (b) ganho de sal (SG) durante a salga úmida de cortes de carne bovina com diferentes formulações de salmoura (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.

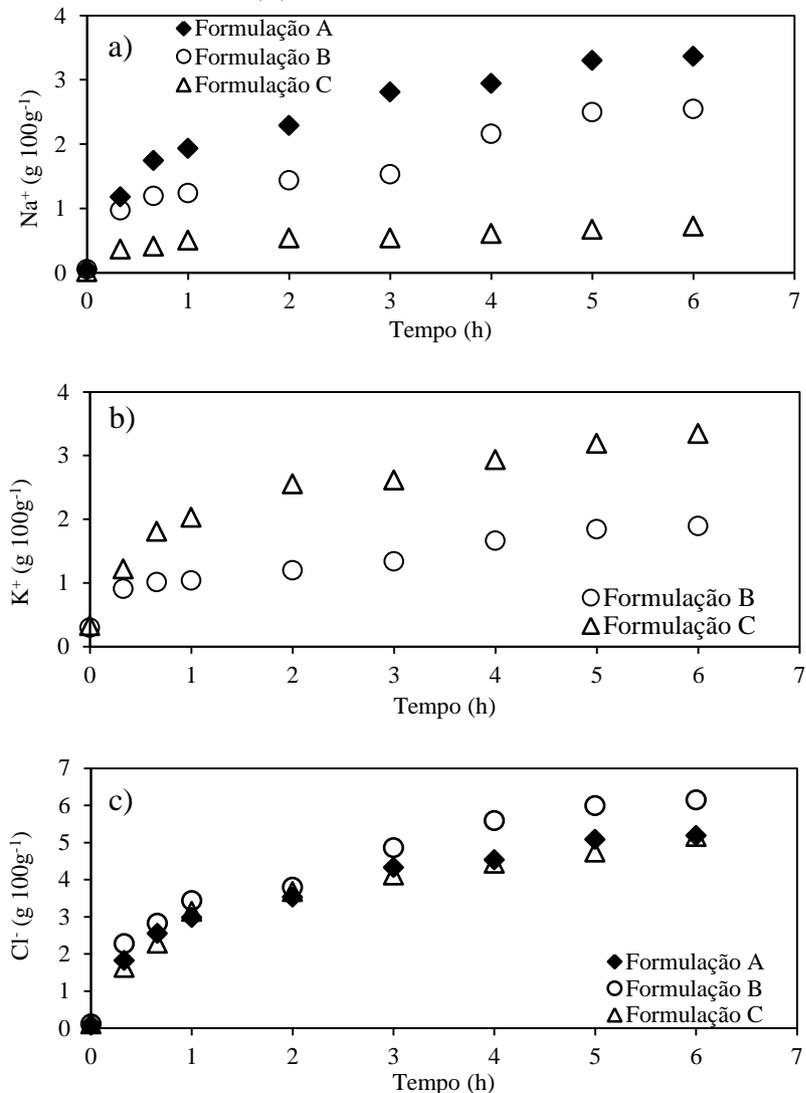


Na Figura 2.13a pode-se observar, depois da terceira hora de processo, uma tendência das amostras submetidas à salga utilizando as formulações B e C em apresentarem maiores valores de WL . Um comportamento semelhante foi observado por Corso et al. (2012) nos primeiros três dias de salga de carne caprina com substituição de NaCl

por KCl (75% de NaCl/25% de KCl e 50% de NaCl/50% de KCl) em comparação ao processo de salga com 100% de NaCl. Martínez-Alvarez e Gómez-Guillén (2013) também observaram que a adição de KCl, $MgCl_2$ e/ou $CaCl_2$ nas salmouras causou um aumento significativo ($p < 0,05$) na perda de água em filés de bacalhau. Esse aumento na perda de água tem sido explicado pela redução da capacidade de retenção de água das miofibrilas devido à neutralização das proteínas (Martínez-Alvarez e Gómez-Guillén, 2013). O potássio tem menor capacidade depressora da atividade da água, assim como menor capacidade de retenção de água (Barat et al., 2011). Isso faz com que a água esteja mais livre, sendo mais facilmente removida.

Na Figura 2.13b pode-se observar que após a terceira hora de tratamento as amostras submetidas à salga com a formulação B apresentam os maiores valores de SG , em relação às demais formulações. Como o SG pelas amostras foi determinado pela soma da concentração dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- , esse aumento pode ser explicado através das cinéticas de concentração dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- nos cortes de carne bovina ao longo do tempo de salga, apresentadas na Figura 2.14.

Figura 2.14 Cinética da concentração de íons (a) sódio, (b) potássio e (c) cloretos nos cortes de carne bovina durante a salga úmida com diferentes formulações de salmoura. (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.



As concentrações dos íons Na⁺ (Figura 2.14a), K⁺ (Figura 2.14b) e Cl⁻ (Figura 2.14c) nos cortes de carne aumentaram em função

do tempo de salga e da concentração dos íons dissolvidos na solução salina. Observou-se que as concentrações de íons Na^+ (Figura 2.14a) e K^+ (Figura 2.14b) nas amostras imersas na formulação B foram similares (de 1 a $1,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) nas primeiras três horas de processo, mesmo sendo maior a concentração de íons de Na^+ dissolvidos na salmoura do que os íons K^+ . Depois de três horas de processo, a concentração de Na^+ nas amostras teve um aumento mais significativo em relação à concentração de K^+ . As amostras submetidas à formulação C (com a mesma concentração de íons Na^+ e K^+) apresentaram uma concentração maior de K^+ desde o início do processo. Com base nesses resultados, pode-se dizer que a impregnação dos íons K^+ nas amostras de carne é mais rápida do que a dos íons Na^+ . Segundo Barat et al. (2011), uma possível razão para essa impregnação mais rápida de K^+ é a densidade de carga desse íon em relação à carga do Na^+ , devido o seu tamanho mais elevado. A menor densidade de carga do K^+ resulta em menor interação eletrostática que o Na^+ com as proteínas da carne, facilitando assim a sua difusão. Isso demonstra a importância da adaptação do tempo de salga quando se utiliza misturas salinas de NaCl e KCl na elaboração de produtos cárneos com teor de sódio reduzido.

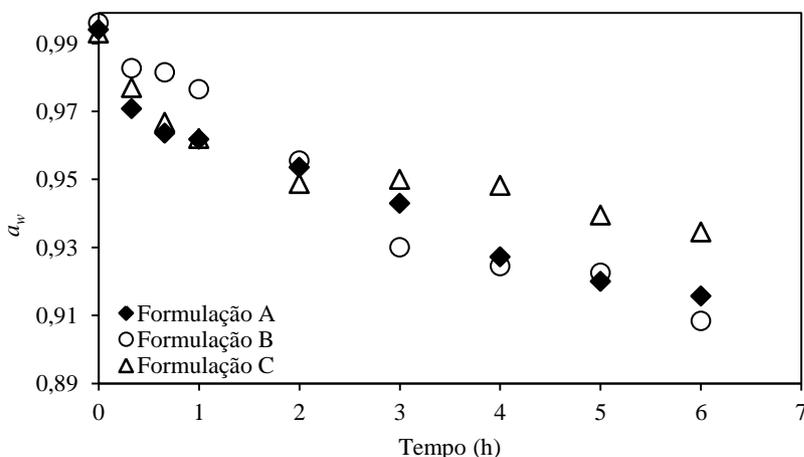
Na Figura 2.14c observa-se que o aumento da concentração de Cl^- nas amostras nas primeiras duas horas de processo foi praticamente igual, como era esperado, uma vez que a concentração de íons de Cl^- é a mesma nas diferentes formulações estudadas. Porém, a formulação B parece influenciar o aumento da concentração de Cl^- nas amostras depois da segunda hora de salga. Como o SG foi determinado pela soma dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- , a concentração dos íons Cl^- influenciou diretamente nos resultados de SG . Isso pode ser confirmado através das Figuras 2.13b (GS) e 2.14c (teor de Cl^-). Corso et al. (2012) observaram que as formulações mistas, em que o NaCl foi substituído parcialmente por KCl , CaCl_2 e MgCl_2 , no processo de salga (em pilha) de carne caprina houve influência no aumento de WL , ML e ganho de cloretos nos três primeiros dias de processo, em relação à formulação contendo apenas NaCl .

No caso da utilização da formulação C, não foi observada a maior impregnação de cloretos nos cortes de carne bovina. De acordo com Martínez-Alvarez et al. (2005), a maior concentração de íons K^+ dissolvidos na salmoura faz com que esses se liguem fortemente e de forma rápida às proteínas musculares nas camadas mais externas dos cortes de carne, provocando compactação das miofibrilas e retardando tanto a penetração dos íons cloreto quanto dos íons Na^+ .

A substituição de NaCl por KCl em salmouras reduziu consideravelmente o teor de sódio nos cortes de carne. Ao final de seis horas de salga, as formulações B e C permitiram uma redução no teor de sódio nas amostras de aproximadamente 20 e 70%, respectivamente, quando comparadas às amostras salgadas com a formulação A. Segundo Martínez-Alvarez e Gómez-Guillén (2013), a impregnação de diferentes sais durante a salga provoca alterações conformacionais nas proteínas, que dão origem a alterações na solubilidade, em maior ou menor grau, dependendo dos sais usados, o que torna mais complexo a compreensão do processo.

O efeito da substituição parcial de NaCl por KCl na a_w dos cortes de carne bovina também foi investigado, uma vez que a depressão da a_w por KCl é menor que a do NaCl. Essa menor depressão é atribuída ao maior tamanho do raio dos íons K^+ quando comparado ao dos íons Na^+ e, conseqüentemente, ao menor poder de atração das moléculas de água (Barat et al., 2011). As cinéticas da variação da atividade de água para as diferentes formulações estudadas são apresentadas na Figura 2.15.

Figura 2.15 Cinética da variação da atividade de água (a_w) nos cortes de carne bovina durante a salga úmida com diferentes formulações de salmoura. (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.



Ao final de seis horas, a redução da a_w foi de aproximadamente 7, 8 e 6% para as amostras submetidas às formulações A, B e C, respectivamente, em relação à a_w inicial da carne *in natura*. Esses resultados estão coerentes com os apresentados na Figura 2.12b, em que os maiores valores de SG resultam em menores valores de a_w . Como mencionado anteriormente, o tempo de salga utilizando as formulações de salmoura B e C para a obtenção de produtos cárneos com baixo teor de sal deve ser adaptado, considerando a impregnação mais rápida do íon K^+ e a menor atividade depressora da a_w , em relação ao NaCl.

Durante o processo de salga foi avaliada a influência da adição do KCl na variação do pH e nos parâmetros de cor dos cortes de carne bovina. Os valores médios do pH e dos parâmetros de cor das amostras *in natura* e das amostras submetidas à salga úmida com diferentes formulações de salmoura ((A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl) são apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 Valores de pH e dos parâmetros de cor dos cortes de carne bovina *in natura* e submetidos à salga úmida com diferentes formulações de salmoura. (A) 100% de NaCl, (B) 75% de NaCl e 25% de KCl e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl.

Amostras	pH	Cor			ΔE^*
		L*	a*	b*	
<i>in natura</i>	5,48±0,22 ^a	36,99±2,22 ^a	15,48±1,19 ^a	12,28±1,88 ^a	-
A	5,36±0,12 ^a	41,68±1,39 ^a	6,92 ± 0,75 ^b	8,54 ± 1,13 ^b	14,15±1,01 ^a
B	5,66±0,13 ^a	39,91±1,98 ^a	8,58±2,14 ^b	8,18±1,86 ^b	6,78±1,05 ^b
C	5,55±0,15 ^a	41,56±3,29 ^a	10,79±1,45 ^{ab}	10,11±1,47 ^{ab}	7,79±3,53 ^b

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Na Tabela 2.5, verifica-se que os valores médios de pH dos cortes de carne bovina *in natura* e dos submetidos à salga úmida com diferentes formulações (A, B e C) não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre si, ao final de seis horas de salga. Ainda na Tabela 2.4, observa-se que houve um aumento não significativo ($p > 0,05$) no valor do parâmetro de cor L* e uma diminuição significava ($p < 0,05$) dos parâmetros a* e b* em relação às amostras *in natura*, depois

de seis horas de salga independente da formulação de salmoura em que as amostras foram imersas. A diminuição dos valores dos parâmetros de cor a^* e b^* das amostras submetidas às formulações B e C foi menor que as amostras submetidas as formulação A.

Segundo Corso et al. (2006), o aumento do valor do parâmetro L^* pode ser atribuído ao ganho de sal, que forma uma camada deste e proteína na superfície das amostras, ocasionando o aumento da luminosidade. Entretanto, a diminuição do parâmetro a^* é atribuída à remoção da mioglobina (responsável pela cor vermelha da carne), a qual é solubilizada na solução salina durante a salga e a redução de b^* é atribuída a oxidação lipídica e ao aumento da concentração de carotenóides na superfície (Corso et al., 2006). Esses podem ter sido arrastados do interior dos cortes para a superfície em função da desidratação osmótica. Os pigmentos carotenóides presentes no tecido adiposo, intra e intermuscular, são os principais responsáveis pela tonalidade amarela observada na carne (Costa et al., 2011).

Os resultados de variação de cor, tendo como referência os cortes de carne bovina *in natura*, indicam que a formulação de salmoura A tem maior influência na alteração de cor dos cortes de carne, sendo classificada como muito grande, enquanto que as amostras submetidas à formulação B e C apresentam uma diferença de cor grande. A maior variação da cor sofrida pelas amostras salgadas com a formulação A se deve basicamente a maior redução do parâmetro a^* , devido ao maior efeito pró-oxidante do NaCl sobre a mioglobina.

2.4 Considerações finais

Os resultados apresentados demonstram os efeitos da aplicação de pulsos de vácuo, da adição dos ácidos orgânicos fracos, assim como da substituição parcial de NaCl por KCl na transferência de massa durante a salga dos cortes de carne bovina. Os resultados de SG pelos cortes de carne bovina indicam que a aplicação de 1PV ou 3PV pode ser utilizada para reduzir os tempos de salga, tanto na salga úmida quanto na salga mista. A técnica de salga úmida com aplicação de 3PV resulta em maiores valores de ganho de sal pelos cortes de carne no mesmo tempo de processo, em relação às técnicas de salga (úmida e mista) à Patm e com 1PV. Independente da aplicação de vácuo, os resultados de cor indicam que a salga úmida tem maior influência na variação da cor dos cortes de carne que a salga mista.

Os tratamentos de marinação com adição de ácidos fracos (AA, AC e AL) não exercem influência significativa na WL e no SG pelos cortes de carne bovina, em comparação à salga com 1PV sem a adição de ácido. A variação de cor nos cortes de carne é maior no processo de salga 1PV sem adição de ácido que nos demais tratamentos de salga com ácidos.

Os cortes de carne bovina salgados com formulações de salmoura (B e C) contendo cloreto de sódio e potássio apresentam valores de SG total (NaCl + KCl) semelhante à formulação (A) contendo apenas NaCl, porém com concentração de sódio reduzida. A formulação de salmoura B se apresenta como uma alternativa interessante para a redução do teor de sódio, por resultar em valores de a_w mais próximos às amostras submetidas à formulação A (padrão) que a formulação C. A formulação B resulta em concentrações semelhantes de íons Na^+ e K^+ na amostra, enquanto que a formulação C resulta em concentrações bem maiores de íons K^+ que íons Na^+ . A maior concentração de K^+ na amostra pode conferir um sabor residual amargo ao produto final.

Os valores de a_w (0,93 a 0,91) observados nas amostras de carne bovina submetidas à salga úmida com aplicação de 3PV e diferentes formulações de salmoura ainda são relativamente altos para inibir o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes. Isso demonstra que as carnes submetidas ao processo de desidratação

osmótica necessitam de um processo complementar, podendo ser o processo de secagem para estender a vida útil do produto.

CAPÍTULO 3

3 AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM DE CARNE BOVINA SALGADA

Neste capítulo são apresentados os sistemas experimentais utilizados nos diferentes métodos de secagem, para a elaboração de um produto cárneo salgado e desidratado com teor de sódio reduzido, bem como os resultados que mostram a viabilidade da integração das técnicas de salga e secagem na obtenção de um produto salgado e desidratado com o teor de sódio reduzido.

3.1 Introdução

A secagem é uma técnica de conservação de alimentos conhecida desde a Antiguidade e pode ser utilizada como único método de conservação, ou como complemento da salga ou da defumação. Essa técnica reduz a umidade dos alimentos, resultando na diminuição da a_w dos produtos, inibindo o desenvolvimento de microrganismos e as deteriorações de origem físico-química, e consequentemente aumentando a vida útil dos produtos (Geankoplis, 1998; Thiagarajan, 2008; Wang et al., 2011).

Os processos de secagem com ar quente são os mais utilizados pelas indústrias de alimentos. No entanto, um dos principais problemas na secagem de produtos cárneos com circulação de ar quente é o ressecamento superficial, que causa a formação de uma película rígida de baixa permeabilidade, dificultando a migração da água do interior do produto para a superfície (Muñoz et al., 2012). Além disso, os processos de secagem com ar quente podem causar a desnaturação térmica de compostos de importância nutricional como as proteínas presentes na carne e modificar as propriedades sensoriais do alimento (Wang et al., 2011).

O método mais utilizado para estudar a desnaturação das proteínas dos tecidos musculares é a calorimetria diferencial de varredura (DSC) (Kazemi et al., 2011). As estruturas das proteínas são mantidas por forças moleculares. Estas são reduzidas quando submetidas a um aumento de temperatura. Dependendo da temperatura que as proteínas são submetidas, essas são desenroladas e ocorre uma transição do tipo ordem-desordem. Este fenômeno é denominado de desnaturação, uma transição de fase de primeira ordem e pode ser

caracterizado pela temperatura de desnaturação (T_d) e pela entalpia de desnaturação (H_d) (Furukawa et al., 2004).

Para melhorar a qualidade dos alimentos desidratados, várias técnicas têm sido desenvolvidas. Entre essas técnicas podem ser citadas a secagem a vácuo (que permite evaporação da água a baixas temperaturas), a liofilização e o uso de fontes de aquecimento como as micro-ondas (Jangam et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes métodos de secagem (secagem convectiva, secagem a vácuo e secagem em micro-ondas a vácuo) na cinética de desidratação de cortes de carne bovina salgada.

3.2 Material e Métodos

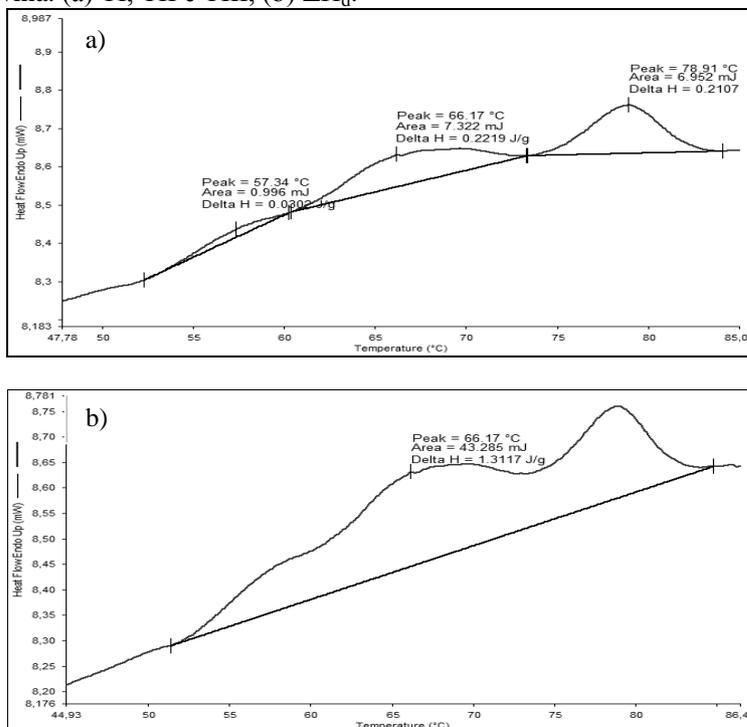
3.2.1 Influência da concentração de sal na temperatura de desnaturação das proteínas da carne bovina salgada

O cloreto de sódio (NaCl) e outros sais diminuem a temperatura de desnaturação das proteínas predominantes da carne, como a miosina, a actina, as proteínas sarcoplasmáticas e o colágeno (Furukawa et al., 2004). Neste contexto, com o objetivo de selecionar a temperatura máxima de secagem, avaliou-se a influência da concentração de sal nos cortes de carne bovina na temperatura de desnaturação das proteínas através de análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC). Para tal, foi utilizado um calorímetro diferencial de varredura (Jade DSC, PerkinElmer do Brasil Ltda) operando com fluxo de nitrogênio gasoso (N₂) de 20 mL min⁻¹ e com taxa de aquecimento de 5 °C min⁻¹ (na faixa de 5 a 100 °C). Durante as análises foi descontada a linha de base e utilizada uma cápsula vazia como referência. O aparelho foi calibrado com Índio (T=156,6°C e $\Delta H=28,450\text{ J g}^{-1}$) e Zinco (T=419,47 °C e $\Delta H=106,29\text{ J g}^{-1}$).

As análises de DSC foram realizadas em amostras de carne *in natura* e amostras imersas em soluções com diferentes concentrações de NaCl. Essas últimas foram preparadas pesando-se aproximadamente 150 g de amostra, seguido de imersão em soluções de NaCl com concentração de 20, 50 100 e 330 g de NaCl L⁻¹ de solução por 48 horas. Após esse período, as amostras (*in natura* e com diferentes concentrações de NaCl) foram trituradas separadamente e porções de aproximadamente 50 mg foram acondicionadas em cápsulas de alumínio (n° B0143003). Estas foram fechadas hermeticamente e submetidas à análise de calorimetria diferencial de varredura.

A temperatura de desnaturação (T_d) e a variação da entalpia total de desnaturação (ΔH_d) das proteínas foram estimadas de acordo com Kazemi et al. (2011) (medindo a área sob a curva de transição), utilizando o *software* Pyris da PerkinElmer precisely N5378029-C versão 9.02.0193, conforme ilustra as Figuras 3.1a e 3.1b. A faixa de temperatura de 40 °C a 84 °C foi utilizada para a estimativa da T_d da miosina (TI), das proteínas sarcoplasmáticas (TII), da actina (TIII) e da ΔH_d .

Figura 3.1 Estimativa da T_d e da ΔH_d das proteínas de corte de carne bovina. (a) TI, TII e TIII, (b) ΔH_d .



3.2.2 Preparação das amostras

As amostras de carne bovina utilizadas nos processos de secagem (secagem convectiva, secagem a vácuo e secagem por micro-ondas a vácuo) foram previamente salgadas por 20 minutos utilizando o método de salga úmida com 3PV e três formulações de salmoura com concentração total de sal de 6 mol L^{-1} de solução ($\approx 26\%$ em massa de sal). O processo de salga e as formulações foram às mesmas utilizadas no estudo apresentado no Capítulo 2: (A) 100% de NaCl ($\approx 6 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução), (B) 75% de NaCl e 25% de KCl ($\approx 4,5 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $1,5 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução) e (C) 50% de NaCl e 50% de KCl ($\approx 3 \text{ mol de NaCl L}^{-1}$ de solução e $3 \text{ mol de KCl L}^{-1}$ de solução). O tempo de imersão de 20 minutos foi estabelecido com base nos resultados de SG apresentados no Capítulo 2. Após esse

período, as amostras submetidas à salga úmida utilizando as formulações A, B e C apresentaram uma concentração total de sal de aproximadamente de $3,04 \pm 0,3$ g de NaCl 100 g^{-1} de amostra, $3,19 \pm 0,56$ g de NaCl+KCl 100 g^{-1} de amostra ($1,70$ g de KCl 100 g^{-1} de amostra + $2,30$ g de NaCl 100 g^{-1} de amostra) e $3,71 \pm 0,20$ g de NaCl+KCl 100 g^{-1} de amostra ($2,40$ g de KCl 100 g^{-1} de amostra + $1,31$ g de NaCl 100 g^{-1} de amostra), respectivamente. Esses valores são considerados ideais para que o produto final tenha uma concentração de sal próxima de 8%, uma vez que espera-se reduzir em 50 % a massa da amostra na etapa de secagem a fim de atingir o valor de a_w desejado ($\approx 0,7$).

Após a salga, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e mantidas sob refrigeração a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ por aproximadamente 48 horas para a homogeneização da concentração de sal nas mesmas. Após esse período, três amostras foram selecionadas aleatoriamente e analisadas em relação à a_w , umidade, concentração de sal, pH e cor. Essas análises foram realizadas para verificar as possíveis alterações sofridas durante o armazenamento e determinar os parâmetros iniciais do processo de secagem. Após o período de homogeneização da concentração de sal, as amostras foram fracionadas em quatro partes iguais de $4,0 \times 4,0 \times 1,5$ cm (comprimento x largura x espessura), identificadas e submetidas a três diferentes processos de secagem: (i) secagem convectiva, (ii) secagem a vácuo e (iii) secagem por micro-ondas a vácuo.

Todos os experimentos de secagem foram realizados em duplicata, sendo utilizado um número suficiente de amostras, para que em cada tempo pré-determinado de amostragem fossem retiradas três amostras. Para a construção das curvas de secagem as amostras foram analisadas individualmente em relação a a_w , umidade e perda de massa, conforme descrito no item 3.2.6. Os resultados finais das análises foram expressos como a média dos valores obtidos para as seis amostras.

3.2.3 Avaliação da influência de diferentes métodos de secagem na cinética de desidratação de cortes de carne bovina salgados

3.2.3.1 Secagem convectiva– SC

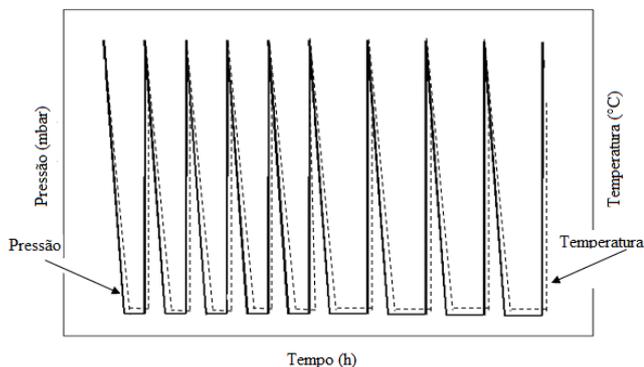
As amostras de carne bovina previamente salgadas foram submetidas à secagem convectiva (SC) em estufa (TECNAL-TE 394/2) com circulação de ar a 40 °C, sobre um filme de poliéster *mylar* (DuPont, EUA). Durante o processo de secagem, a umidade relativa do ar foi monitorada pela leitura das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, enquanto a velocidade do ar foi determinada através de um anemômetro (Anemômetro Térmico Compacto - TESTO 425). A umidade relativa e a velocidade se mantiveram próximas de 28,4% e 0,78 m s⁻¹, respectivamente. Para tempos de secagem pré-definidos, foram retiradas três amostras para as análises. Os tempos foram de hora em hora nas primeiras 12 horas de processo e a cada duas horas até atingirem a a_w de 0,7 (valor normalmente encontrado em produtos comerciais, como o charque e *jerked beef*).

3.2.3.2 Secagem a vácuo– SV

Na Figura 3.2 é apresentado o diagrama esquemático do dispositivo experimental utilizado no processo de secagem a vácuo (SV). O aparato experimental consiste de uma câmara de secagem de 100 L (Ethik technology, 440-DE, Brasil) com controle de temperatura, conectada a uma bomba de vácuo (DVP, modelo LC.305, Itália). As placas de acondicionamento de amostras foram mantidas aquecidas através de resistências elétricas e a temperatura das mesmas foi controlada por um controlador PID (Novus, N480D). Entre a bomba de vácuo e a estufa foi utilizado um sistema de condensação (*Trapping*) para manter a eficiência do bombeamento. A pressão do sistema foi monitorada por um vacuômetro digital (ILMVAC Multi-range Vacuum Gauge, PIZA 111 - ILMVAC, Alemanha).

A variação da temperatura das amostras foi monitorada utilizando termopares do tipo T (Iope, model A-TX-TF-TF-R30AWG, Brasil) conectados a um sistema de aquisição de dados (34970A, Agilent Technologies, EUA). Os termopares foram hermeticamente conectados à estufa através de um flange (Kaye feed thru, General

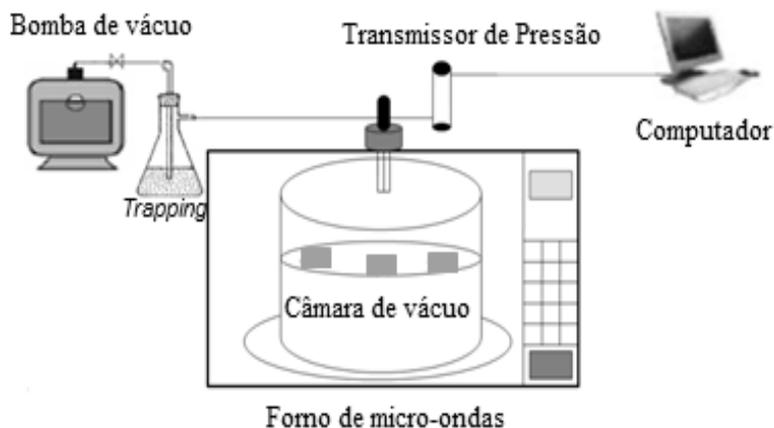
Figura 3.3 Representação do perfil pressão-temperatura-tempo utilizado no sistema de secagem à vácuo.



3.2.3.3 Secagem por micro-ondas a vácuo – SMV

O processo de secagem por micro-ondas a vácuo (SMV) foi realizado em um forno de micro-ondas adaptado (Electrolux, mex55, Brasil) com potência de saída do magnetron de 1000 W, frequência de 2,45 GHz e com dimensões externas de 339x589x496 mm de altura, largura e profundidade, respectivamente. Um esquema do sistema experimental utilizado é ilustrado na Figura 3.4. Uma cuba cilíndrica de polipropileno, devidamente vedada, foi acoplada no interior do forno e usada como câmara de vácuo. Essa câmara foi conectada a uma bomba de vácuo com vazão nominal de $350 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (DVP, modelo LC.305, Itália), e um transmissor de pressão (Wärme do Brasil, modelo WTP-4010) foi usado para monitorar a pressão no seu interior. Na linha entre a câmara (cuba) e a bomba de vácuo foi instalado um *trapping* para a condensação do vapor de água liberado na secagem.

Figura 3.4 Representação esquemática do dispositivo experimental utilizado na secagem por micro-ondas a vácuo.



No processo de secagem por micro-ondas a vácuo foi utilizada a potência de 300 W, selecionada no painel de controle do forno. Essa potência foi escolhida a partir de testes preliminares com água, de forma que a temperatura da água não ultrapassasse os 40 °C. Durante a secagem, a pressão do sistema foi mantida em aproximadamente 40mmHg, o que corresponde a uma temperatura de saturação da água de aproximadamente 35 °C (Moran e Shapiro, 2006). Ao final do processo, a temperatura das amostras foi medida com um termômetro digital tipo espeto (Incoterm, China).

Para a avaliação da cinética de SMV foram estipulados intervalos de tempo de três minutos até as amostras de carne atingirem a a_w de 0,7. Para cada tempo pré-determinado foram acondicionadas três amostras no interior da cuba de acrílico, mantendo sempre a mesma distância entre elas e a mesma massa total.

3.2.4 Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com diferentes soluções salinas e desidratados pelo método de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo

3.2.4.1 Análises realizadas após os processos de secagem

As análises de umidade, a_w , perda de massa total, cor, pH e porosidade foram determinadas conforme descrito no Capítulo 2 no item 2.2.9.

3.2.4.2 Determinação da capacidade retenção de água – CRA

A capacidade de retenção de água (CRA) dos cortes de carne bovina salgados e desidratados foi determinada utilizando um método modificado de centrifugação, descrito por Desmond et al. (2000). As amostras de carne foram cortadas em cubos de aproximadamente 10 g, envoltas em gaze e depositadas em tubos de centrífuga de 50 mL (contendo algodão no fundo). Os mesmos foram centrifugados (Centrífuga Sigma, modelo 4k15) a 7000 rpm (5697 g) por 10 minutos a 20 °C. As amostras foram pesadas antes e após a centrifugação e a CRA foi calculada conforme a Equação 3.1 (razão entre a massa de água retida pela amostra após a centrifugação e a massa de sólidos secos da amostra).

$$CRA = \frac{(M^0 X_a) - (M^0 - M)}{M^0 (1 - X_a)} \quad (3.1)$$

em que X_a é a umidade da amostra antes da centrifugação e M^0 e M são as massas das amostras antes e depois da centrifugação, respectivamente.

3.2.4.3 *Propriedades mecânicas*

Após a secagem, as amostras de carne bovina foram acondicionadas em embalagens plásticas a vácuo e mantidas sob refrigeração a 10 °C por 24 horas para homogeneização da umidade (Muñoz et al., 2012). Após esse período, as mesmas foram cozidas por 15 minutos em água fervente, cortadas no formato de paralelepípedos com dimensões de 20 mm x 20 mm x 10 mm largura, comprimento e espessura, respectivamente, e submetidas às análises de propriedades mecânicas. Estas foram avaliadas através de ensaios de corte e de dupla compressão (análise de perfil de textura – TPA) utilizando um texturômetro equipado com uma célula de carga de 250 N (Stable Micro Systems Texture Analyser, TA-XT2i).

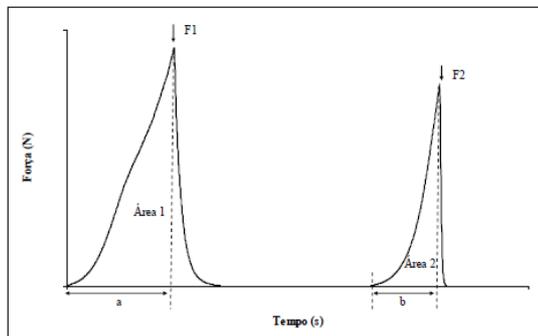
3.2.4.3.1 *Análise de corte*

O ensaio de corte foi realizado utilizando uma lâmina Waner-Bratzler acoplada ao texturômetro. A força física necessária para efetuar o corte da amostra (força de cisalhamento) foi aplicada perpendicularmente ao sentido das fibras da carne e com velocidade de 5 mms⁻¹. A partir da curva de força *versus* distância foi determinada a força máxima de corte ($F_{\text{máx}}$) em Newtons (N).

3.2.4.3.2 *Análise do perfil de textura (TPA)*

Para a análise de perfil de textura, as amostras foram comprimidas por duas vezes com uma *probe* de 50 mm de diâmetro à uma velocidade de 1 mm/s. O intervalo entre as compressões consecutivas foi de cinco segundos, com deformação de 50% da altura. Uma curva típica da análise de TPA é apresentada na Figura 3.5 (Aliño et al., 2011; Schmidt et al., 2010; Thiagarajan, 2008).

Figura 3.5 Curva típica de análise de perfil de textura (TPA).
Fonte: Schmidt, 2010.



Os parâmetros de dureza (N), coesividade (adimensional), elasticidade (adimensional), gomosidade e mastigabilidade (N) foram calculados através das Equações 3.2 a 3.6, com base nos dados registrados pelo equipamento de força (N) *versus* o tempo, Figura 3.5 (Aliño et al., 2011; Schmidt et al., 2010; Thiagarajan, 2008).

$$Dureza = F1 \quad (3.2)$$

$$Coesividade = \frac{Área 2}{Área 1} \quad (3.3)$$

$$Elasticidade = \frac{b}{a} \quad (3.4)$$

$$Gomosidade = \left(\frac{Área 2}{Área 1} \right) \times Dureza \quad (3.5)$$

$$Mastigabilidade = Gomosidade \times \frac{b}{a} \quad (3.6)$$

3.3.1.1. Reidratação

Para a avaliação da capacidade de reidratação das amostras desidratadas obtidas por diferentes métodos de secagem foi utilizada a metodologia de reidratação por imersão em água, de acordo Nathakaranakule et al. (2007). As amostras de carne desidratadas com dimensões de 30 mm x 30 mm x 10 mm (largura, comprimento e espessura, respectivamente), pesando aproximadamente 20 gramas foram totalmente imersas em água destilada a 10 °C na proporção de 1:10 (g de amostra: g de água destilada) e mantidas por aproximadamente 24 horas, até massa constante. A percentagem de reidratação dos cortes de carne bovina salgada e desidratada foi calculada através da Equação 3.7.

$$\text{Reidratação} = \frac{M_t - M_d}{M_d} \times 100 \quad (3.7)$$

Em que M_t é a massa da amostra reidratada no tempo t em g; e M_d é a massa da amostra desidratada em g. Os experimentos de reidratação foram realizados em triplicata.

3.3.1.2. Microscopia eletrônica de varredura – MEV

Para a realização das análises de microscopia eletrônica de varredura, as amostras de carne salgada e desidratada foram liofilizadas e analisadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) - UFSC, utilizando um microscópio eletrônico de varredura convencional (JEOL, JSM-6390LV). As amostras liofilizadas foram recobertas com ouro, utilizando um metalizador (LEICA SCD 500) e um feixe de elétrons de 10 kV.

3.2.5 Análise Estatística

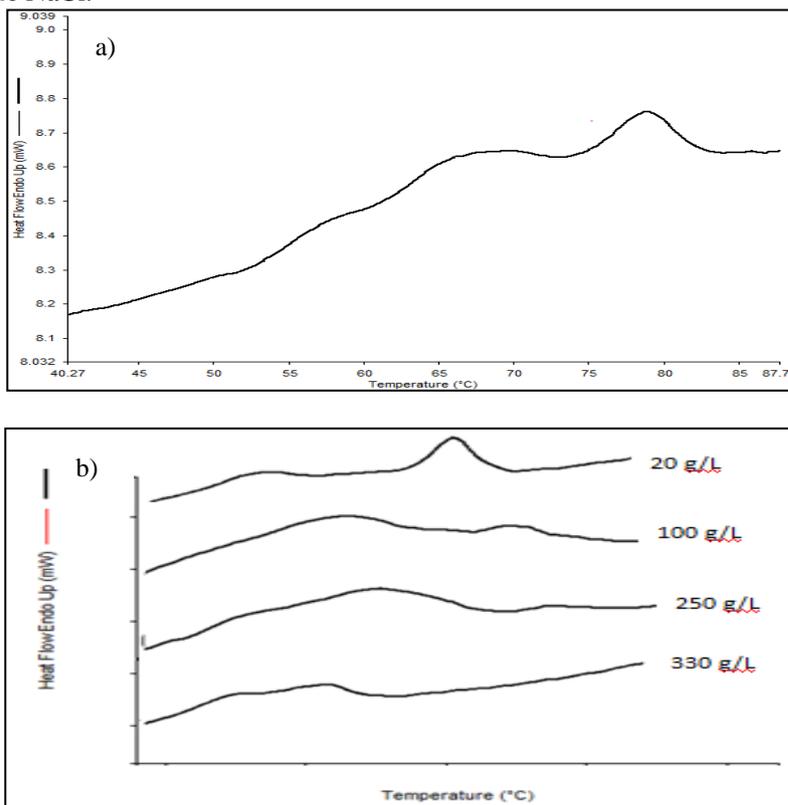
As análises estatísticas foram realizadas através do uso do *software* Statística® 7.0. Para verificar a existência de diferença significativa entre os parâmetros analisados nos diferentes métodos de secagem estudados. Primeiramente foi realizada uma análise de variância simples (ANOVA *one way*). Em seguida foi realizado o teste de *Tukey*, com um nível de significância de 5%, para casos em que houve diferença significativa entre as respostas.

3.4. Resultados e Discussões

3.2.6 Influência da concentração de sal na temperatura de desnaturação das proteínas da carne bovina salgada

Na Figura 3.6 estão apresentados os termogramas das análises de calorimetria diferencial de varredura da amostra de carne bovina *in natura* (Figura 3.6a) e das amostras imersas em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl (Figura 3.6b).

Figura 3.6 Termogramas de DSC para amostras de carne bovina (a) *in natura* e (b) imersas em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl.



Na Figura 3.6a foi identificada a formação de três picos endotérmicos principais nas temperaturas próximas de 57, 66 e 78 °C. De acordo com Bruton et al. (2006), o primeiro pico endotérmico ($T_d = 57^\circ\text{C}$) pode ser associado à desnaturação da proteína miosina, o segundo ($T_d = 66^\circ\text{C}$) à desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas e ao colágeno, e o terceiro ($T_d = 78^\circ\text{C}$) à desnaturação da actina. Os autores acima citados estudaram as temperaturas de desnaturação das proteínas da carne bovina crua e observaram que a T_d da miosina ocorreu em 59 °C, do colágeno a 66 °C e da actina em 82 °C.

Na Figura 3.6b foi observado que o aumento da concentração de sal na salmoura em que as amostras foram imersas ocasionou uma modificação nos perfis dos endodermas e uma redução da intensidade dos picos, além do deslocamento desses para temperaturas mais baixas, em comparação aos das amostras *in natura*. Kijowski e Mast (1988) também relataram uma diminuição dos picos endotérmicos da miosina e da actina em termogramas de carne de frango quando a concentração da salmoura foi aumentada para 40 g L⁻¹ de NaCl (em relação às amostras sem adição de sal). A modificação das curvas se deve provavelmente à alteração da estabilidade térmica das proteínas. O sal presente nas amostras de carne pode desestabilizar as proteínas, reduzindo as forças moleculares internas (Furukawa et al., 2004). Thorarinsdottir et al. (2002) e Quinn et al. (1980) também observaram um comportamento semelhante em relação à modificação das curvas e à temperatura de formação dos picos para as proteínas miosina e sarcoplasmáticas. Thorarinsdottir et al. (2002) observaram que os termogramas das amostras de bacalhau salgado apresentaram picos mais largos e sobrepostos (menos separáveis). Além, do deslocamento dos picos para temperaturas mais baixas em relação às amostras de bacalhau fresco, não sendo possível identificar o ponto de transição entre os picos de desnaturação da miosina e das proteínas sarcoplasmáticas. Quinn et al. (1980) também relataram que ocorreu uma diminuição da intensidade dos picos nas temperaturas próximas de 60 °C (miosina e proteínas sarcoplasmáticas) em amostras de carne bovina, quando houve um aumento da concentração de NaCl em 2,9%, na amostra.

Em virtude da sobreposição dos picos, o cálculo das entalpias de desnaturação de cada fração proteica é dificultado. Deste modo, as entalpias de desnaturação de todas as frações proteicas foram calculadas juntas (entalpia total). Na Tabela 3.1 são apresentados os resultados estimados das temperaturas de desnaturação da miosina (TI), das proteínas sarcoplasmáticas e colágeno (TII) e da actina (TIII),

juntamente com a variação de entalpia total de desnaturação (ΔH_d) dos cortes de carne bovina *in natura* e imersos em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl.

Tabela 3.1 Temperaturas e entalpia total de desnaturação estimadas para as proteínas de cortes de carne bovina *in natura* e tratados em soluções salinas com diferentes concentrações de NaCl.

Amostra	TI (°C)	TII (°C)	TIII (°C)	ΔH Total (J g ⁻¹)
<i>In Natura</i>	56,33±1,21 ^a	66,23±1,13 ^a	78,60±0,23 ^a	1,69±0,29 ^a
g de NaCl L ⁻¹ de água				
20	54,94±0,49 ^a	65,67±0,38 ^a	73,45±0,19 ^{ab}	1,42±0,57 ^a
50	50,17±1,14 ^{ab}	60,34±5,32 ^a	69,02±5,88 ^{ab}	1,34±0,60 ^a
100	46,05±3,81 ^b	56,37±3,21 ^b	68,57±1,10 ^{ab}	1,05±0,20 ^a
330	43,57±3,11 ^b	53,10±4,38 ^b	64,49±2,63 ^b	0,87±0,66 ^a

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível de significância de 5%.

As temperaturas estimadas de desnaturação das proteínas das amostras *in natura* são semelhantes às relatadas por Brunton et al. (2006) em carne bovina crua e Graiver et al. (2006) em carne suína. As temperaturas de desnaturação relatadas por Brunton et al. (2006) foram de 59 °C para miosina, 66 °C para o colágeno e 82 °C para a actina. Graiver et al. (2006) relataram temperaturas de 57,6 °C, 66,2 °C, e 80,3 °C para a miosina, para as proteínas sarcoplasmáticas e para actina, respectivamente.

Como era esperado, a temperatura de desnaturação das proteínas das amostras diminuiu com o aumento da concentração de NaCl nas soluções, devido ao efeito desestabilizador do sal sobre as mesmas. A maior variação de temperatura de desnaturação, em relação à amostra *in natura* foi verificada nas amostras imersas em soluções com concentração de 330 g L⁻¹. Essa variação foi de aproximadamente 12 °C para a miosina, 13 °C para as proteínas sarcoplasmáticas e 14 °C para a actina.

O valor da variação da entalpia total da carne *in natura*, apresentada na Tabela 3.1, é inferior ao relatado por Kazemi et al. (2011) de 3,91 J g⁻¹ para carne suína, esse valor referente à soma de entalpia da miosina, proteínas sarcoplasmáticas e actina. A diferença entre os valores de entalpia obtidos no presente trabalho e os encontrados por Kazemi et al. (2011) pode ser atribuído ao tipo de amostra e à região do corte, entre outros fatores.

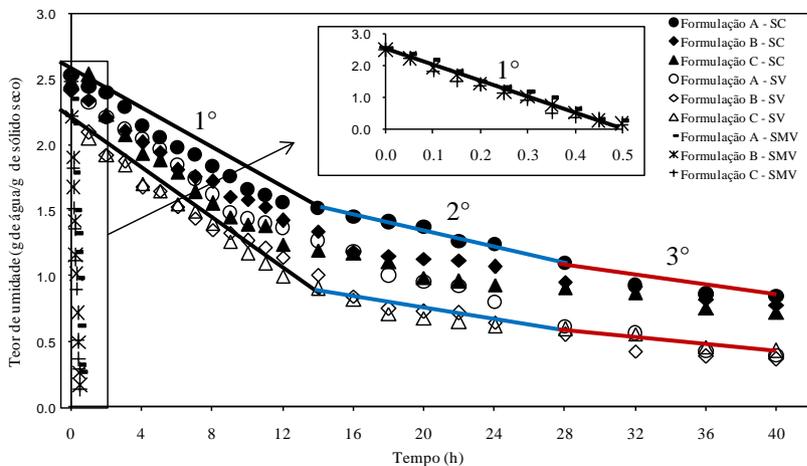
Os valores de entalpia total de desnaturação (ΔH_d) das proteínas estimados diminuíram com o aumento da concentração de sal nas soluções em que as amostras foram imersas, porém não de forma significativa ($p > 0,05$). Furukawa et al. (2004) não observaram diferenças entre os valores da entalpia de desnaturação das proteínas da carne de coelho com concentração de NaCl de 30g kg^{-1} e das proteínas das amostras sem adição de sal. No entanto, Kijowski e Mast (1988) observaram uma redução significativa da entalpia total de desnaturação das proteínas (miosina + sarcoplasmáticas + actina) de aproximadamente de 52 %, para as amostras de carne bovina com concentração de 40 g de NaCl kg^{-1} de amostra, em relação a amostra de carne bovina sem adição de sal.

A menor temperatura de desnaturação determinada foi de aproximadamente $43\text{ }^\circ\text{C}$ nas amostras imersas em soluções salinas com concentração de 330 g de NaCl L^{-1} de solução ($\approx 26\%$ de NaCl). Com base nesse resultado, optou-se em utilizar a temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$ nos diferentes processos de secagem, com o intuito de obter a menor desnaturação proteica possível.

3.2.7 Avaliação da influência de diferentes métodos de secagem na cinética de desidratação de cortes de carne bovina salgados

Na Figura 3.7 são apresentadas as curvas de variação da umidade em base seca dos cortes de carne bovina salgados com as formulações A, B e C durante os três métodos de secagem avaliados (SC, SV e SMV). Os valores iniciais de umidade das amostras foram considerados iguais para todos os métodos de secagem, devido o fracionamento da amostra após à salga, conforme descrito no item 3.2.2. Para melhor visualização dos dados são apresentados apenas os resultados de uma repetição experimental. Cada ponto das curvas representa a média de três amostras coletadas em um experimento.

Figura 3.7 Curvas de secagem de cortes de carne bovina salgada submetidos aos métodos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.



Na Figura 3.7 pode-se observar que as curvas de secagem das amostras salgadas com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e submetidas à secagem convectiva (SC) e à secagem a vácuo (SV) apresentaram comportamento semelhante. Ainda, observa-se que a redução da umidade tanto no método de SC quanto no de SV apresenta três períodos de secagem. O primeiro mais intenso nas primeiras 15 horas de processo, que pode ser caracterizado como período de taxa de secagem constante, o segundo período (15 a 28 h) de taxa decrescente e o terceiro de taxa próxima de zero (28 a 40 h). Durante o monitoramento da temperatura desses dois processos foi verificado que as amostras submetidas à SV só atingiram a temperatura de 31 °C depois de 18 horas de secagem, enquanto que na SC as amostras atingiram essa temperatura nas primeiras três horas de processo. Isso demonstra que a secagem realizada a vácuo pode auxiliar na conservação das propriedades nutricionais e também retardar ou até mesmo evitar a formação da película rígida de baixa permeabilidade que se forma na superfície das amostras de carne quando submetidas ao processo de secagem com ar quente.

As curvas de secagem das amostras submetidas à SMV, também salgadas com diferentes formulações de salmoura, apresentaram apenas um período de intensa redução da umidade, ou seja, período de taxa de secagem constante. A temperatura máxima

observada nas amostras durante a SMV foi de 44 °C, depois de 27 minutos de processo. Nesse tempo a umidade das amostras se encontrava na faixa de 0,25 a 0,30g de água g⁻¹ de sólido seco, enquanto que na SC e SV as amostras (independente da formulação de salmoura em que foram submetidas) ainda apresentavam um teor de umidade de aproximadamente 0,78 e 0,42 (g de água g⁻¹ de sólido seco), respectivamente, depois de 40 horas de processo. Esses resultados indicam que as amostras submetidas ao processo de SMV têm uma redução maior na umidade em menor tempo de processo. Essa redução do tempo de secagem das amostras submetidas ao método de SMV em relação aos demais métodos ocorre devido à dissipação da energia eletromagnética das micro-ondas diretamente nas amostras através da combinação dos mecanismos de polarização e condução iônica.

O tempo necessário para reduzir em 40% o teor de umidade inicial (nível de redução normalmente atingido na fabricação do charque) das amostras de carne bovina salgada com a formulação A e desidratadas por SC, SV e por SMV foi de 10, 8 e 0,17 horas, respectivamente. Esses valores, em comparação ao método SC, representam uma redução no tempo de processo de 20% para as amostras submetidas à SV e 98% para às submetidas à SMV.

O método de aquecimento por micro-ondas reduz drasticamente o tempo de secagem da carne e parece ser uma alternativa de grande futuro para o processamento desse tipo de produto, desde que o processo de secagem seja realizado a vácuo. Isso demonstra a maior contribuição do método de aquecimento por micro-ondas na desidratação das amostras, em comparação com os mecanismos de transferência de calor por condução e convecção presentes na SC e condução e radiação na SV.

Um ponto interessante de ser ressaltado é que a substituição do NaCl por KCl não influenciou significativamente as cinéticas de desidratação das amostras em todos os métodos de secagem estudados. Ao contrário do que foi observado por Aliño et al. (2010b), em que a substituição de NaCl por KCl em presunto curado resultou em um aumento de aproximadamente 32% no tempo de secagem para obter os mesmos valores de atividade de água que o produto salgado apenas com NaCl.

Para melhor avaliação da influência dos diferentes métodos de secagem, assim como das formulações de salmoura utilizadas, foram calculadas as taxas de secagem. As taxas de secagem foram calculadas pelo coeficiente angular do ajuste de uma reta aos valores médios de

umidade (apresentados na Figura 3.7). Os valores de umidade incluídos no ajuste da reta correspondem aos períodos de taxa de secagem constante. Portanto, nos métodos de secagem convectiva e a vácuo foi ajustada uma equação de reta para os valores médios de umidade correspondente as primeiras 15 horas de processo, enquanto que no método de secagem por micro-ondas a vácuo foi incluído todos os valores médios de umidade no ajuste da equação. Os valores das taxas de secagem no período de secagem constante são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Taxas de secagem dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).

Processos de secagem	Formulações	Taxas no período decrecente (g água g ⁻¹ de sólidos secos h ⁻¹)
SC	A	0,072 ^a
	B	0,076 ^b
	C	0,090 ^d
SV	A	0,085 ^c
	B	0,086 ^c
	C	0,094 ^c
SMV	A	4,737 ^f
	B	4,729 ^f
	C	4,788 ^g

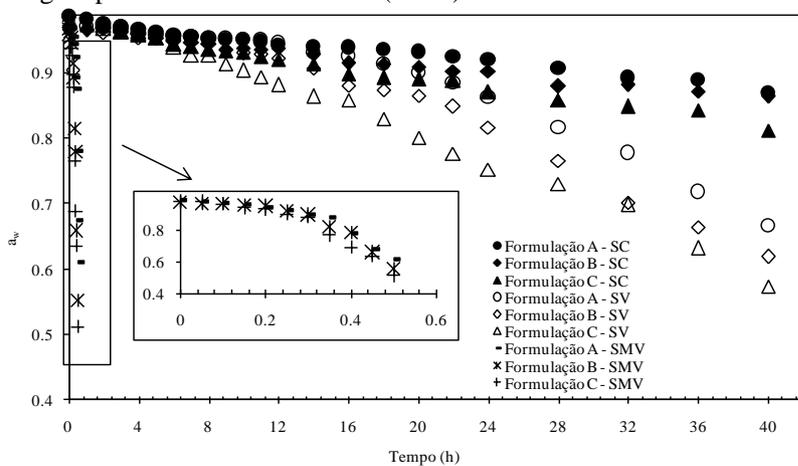
Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Os métodos de secagem a vácuo e por micro-ondas a vácuo influenciaram de forma gradativa no aumento das taxas de secagem, em relação ao método de secagem convectiva, conforme pode ser observado nos valores apresentados na Tabela 3.2. O valor das taxas de secagem obtidas na SMV é em média 60 e 54 vezes maior do que na SC e na SV, respectivamente. As formulação B e C utilizadas na salga dos cortes de carne bovina também apresentaram influência no aumento das taxas de secagem em relação à formulação A, com exceção da formulação B no método de secagem por micro-ondas à vácuo. Esse aumento do valor da taxa pode ser atribuído à maior concentração de

íons K^+ nas amostras salgadas com as formulações B e C do que nas amostras salgadas com as formulações A. O potássio tem menor capacidade depressora da atividade da água, assim como menor capacidade de retenção de água (Barat et al., 2011). Isso faz com que a água esteja mais livre, sendo mais facilmente removida.

A influência dos métodos de secagem (SC, SV e SMV) sobre os cortes de carne bovina salgados, utilizando as formulações de salmoura A, B e C, também foi investigado através da variação da atividade de água (a_w). Para melhor visualização da variação da a_w são apresentados na Figura 3.8 apenas os resultados de uma repetição experimental. Cada ponto das curvas representa a média de três amostras coletadas em um experimento.

Figura 3.8 Variação da atividade de água dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).



Os resultados, apresentados na Figura 3.8, demonstram que as formulações A, B e C não influenciaram significativamente na redução da a_w das amostras quando submetidas aos diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV). Ainda, observa-se uma tendência das amostras submetidas às formulações B e C apresentarem menores valores de a_w . Isso, como comentado anteriormente pode estar

relacionado com a maior concentração de sal e íons K^+ , que facilita da saída da água da amostra e consequentemente na maior redução da a_w .

Os valores de a_w das amostras durante a SMV em função do tempo se diferenciaram significativamente dos valores observados na SC e SV. Estes dois últimos só apresentaram diferenças significativas entre os valores de a_w depois de 16 horas de processo.

As amostras submetidas à SC, salgadas com as formulações A, B e C, não atingiram os valores de a_w de 0,7 ao longo das 40 horas de secagem. Por outro lado, na SV e SMV todas as amostras salgadas, independente da formulação de salmoura (A, B e C), atingiram valores de a_w abaixo de 0,7, no mesmo tempo de processo ou em tempo inferior de 40 horas. Os valores de a_w das amostras (salgadas com as formulações A, B e C) submetidas à SC e SV ao final de 40 horas e por SMV ao final de 0,5 horas variaram de 0,81 a 0,87, 0,57 a 0,67 e 0,51 a 0,61, respectivamente. A redução mais intensa da a_w das amostras na SMV, em menor tempo de processo que nos demais métodos de secagem é consequência das altas taxas de secagem. O tempo necessário para as amostras atingirem os valores de a_w de 0,70 (valor próximo ao encontrado no charque e no *jerked beef*) foi de 32 a 36 horas na SV e 0,4 horas (24 minutos) na SMV.

Os tempos de secagem obtidos no presente trabalho na SMV são maiores que os obtidos por Thiagarajan (2008) de 8 minutos para uma a_w de 0,82 na produção de *jerked beef*, utilizando secagem por micro-ondas combinada com secagem convectiva e temperatura de aproximadamente 86 °C. Com base nos resultados de variação de umidade (Figura 3.7) e a_w (Figura 3.9), o processo de SMV pode ser considerado uma alternativa viável para a redução do tempo de secagem na elaboração de carne bovina salgada desidratada.

3.2.8 Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura e desidratados pelo método de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo

Os cortes de carne bovinos salgados com as formulações de salmoura A, B e C e desidratados por secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo foram caracterizados em relação ao pH, cor, porosidade acessível, capacidade de reidratação, capacidade de retenção de água, propriedades mecânicas e microscopia eletrônica de varredura. Para a caracterização da carne salgada e desidratada foi estabelecido como parâmetro a atividade de água próximo de 0,7. Na Tabela 3.3 são apresentados os valores médios de umidade, a_w , teor de NaCl e KCl e concentração total de sal (NaCl+KCl) dos cortes de carne salgados e desidratados por diferentes métodos.

Tabela 3.3 Caracterização físico-química dos cortes de carne bovina salgados com as formulações de salmoura A, B e C e desidratados pelos métodos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.

Propriedades	Secagem Convectiva			Secagem a vácuo			Secagem micro-ondas a vácuo		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Tempo de secagem (h)	40	40	40	36	32	32	0,45	0,45	0,40
Umidade (g água 100g ⁻¹)	0,84±0,02 ^e	0,77±0,05 ^c	0,72±0,04 ^c	0,56±0,01 ^a	0,55±0,03 ^a	0,55±0,02 ^a	0,32±0,01 ^d	0,20±0,0 ^b	0,23±0,03 ^b
a_w	0,87±0,01 ^f	0,86±0,01 ^e	0,81±0,01 ^e	0,71±0,01 ^d	0,70±0,01 ^{cd}	0,69±0,01 ^{bcd}	0,67±0,01 ^{ab}	0,66±0,01 ^a	0,68±0,01 ^{abc}
NaCl (g 100g ⁻¹)	4,98±0,22 ^f	3,89±0,12 ^d	2,01±0,15 ^a	5,54±0,17 ^f	4,44±0,13 ^e	2,18±0,12 ^d	7,19±0,21 ^g	5,46±0,19 ^c	2,58±0,09 ^b
KCl (g 100g ⁻¹)	1,22±0,11 ^a	2,66±0,05 ^c	4,99±0,19 ^e	1,61±0,10 ^{ab}	3,03±0,12 ^c	5,41±0,21 ^f	1,76±0,09 ^b	3,74±0,11 ^d	6,41±0,15 ^g
Conc. de sal NaCl+KCl (g 100g ⁻¹)	6,20±0,23 ^b	6,56±0,19 ^b	7,00±0,18 ^d	8,15±0,21 ^e	7,48±0,21 ^c	7,59±0,17 ^c	8,95±0,14 ^a	9,20±0,16 ^a	8,99±0,15 ^a

Valores seguidos de mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Na Tabela 3.3 pode-se observar que independente dos métodos de secagem em que as amostras foram submetidas, a utilização das formulações B e C no processo de salga resultou em uma redução na concentração de NaCl no produto final de aproximadamente 20% e 60%, respectivamente, quando comparado aos salgados com a formulação A. Ainda na Tabela 3.3 pode-se observar que as amostras desidratadas pelo método de SV e SMV apresentam maior concentração de sal total (NaCl+KCl), em relação às desidratadas pelo método de SC. Isso se deve à maior redução da umidade sofrida pelas amostra durante a secagem a vácuo e por micro-ondas a vácuo

3.2.8.1 Análise de pH e dos parâmetros de cor dos cortes de carne bovina salgados e desidratados

Os resultados das análises de pH e cor das amostras de carne bovina salgadas com diferentes formulações (A, B e C) e desidratadas por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV) são apresentados na Tabela 3.4. Os valores iniciais de pH e cor das amostras foram considerados iguais para os três métodos de secagem, devido o fracionamento das amostras após à salga, conforme descrito no item 3.2.2.

Tabela 3.4 Resultados da variação do pH e cor das amostras submetidas aos processos de secagem convectiva, a vácuo e por micro-ondas a vácuo.

Amostra	Formulação	pH	Cor			
			L	a*	b*	ΔE^*
Comercial		5,62±0,03	43,13±4,07	6,03±3,28	10,63±2,98	
Inicial	A	5,70±0,21 ^{abcd}	36,20±2,73 ^a	8,69±3,42 ^{ab}	7,96±2,10 ^{bcd}	-
	B	5,40±0,07 ^c	32,94±2,69 ^{acd}	12,47±1,99 ^a	10,46±1,48 ^{abc}	-
	C	5,50±0,02 ^{cd}	31,82±1,47 ^{abcd}	10,15±1,05 ^{ab}	8,64±0,79 ^{bcd}	-
SC	A	5,87±0,09 ^{abd}	23,32±0,29 ^c	2,75±0,35 ^e	2,61±0,19 ^e	15,17±0,40 ^a
	B	5,61±0,12 ^{bcd}	28,15±3,03 ^{bcd}	4,13±2,11 ^{def}	4,53±2,28 ^{de}	11,54±3,56 ^{ab}
	C	5,88±0,10 ^{ab}	26,22±1,74 ^{be}	3,45±0,67 ^{ef}	3,83±0,69 ^e	10,02±1,60 ^{abc}
SV	A	5,83±0,25 ^{ab}	33,86±2,00 ^{ad}	8,53±2,18 ^{abc}	9,79±3,10 ^{abc}	4,94±2,52 ^c
	B	5,60±0,10 ^{bcd}	27,75±2,23 ^{bcd}	5,17±1,15 ^{cdef}	5,40±1,61 ^{de}	10,38±2,60 ^{abc}
	C	6,07±0,08 ^a	27,90±1,06 ^{bce}	7,49±0,71 ^{bcd}	6,42±1,22 ^{cde}	5,27±1,56 ^{bc}
SMV	A	5,84±0,27 ^{ab}	36,24±1,15 ^a	8,86±0,31 ^{abcd}	13,26±0,82 ^{ab}	5,73±0,14 ^c
	B	5,92±0,14 ^{ab}	34,04±3,76 ^a	8,55±0,82 ^{abcd}	12,97±2,35 ^a	6,10±2,16 ^{abc}
	C	6,04±0,12 ^a	34,46±3,10 ^a	8,43±0,50 ^{bcd}	12,71±1,12 ^{ab}	5,66±1,61 ^{bc}

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

O conhecimento do pH é importante para prever o crescimento de microrganismos que poderão se desenvolver no alimento, pois alimentos com pH acima de 4,5 são mais suscetíveis ao desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes (Franco e Landgraf, 2003). No caso da carne salgada e desidratada com pH próximo de 5,5, pode ocorrer o desenvolvimento de bolores, leveduras e bactérias lácticas, por isso a importância de combinar fatores intrínsecos, como a a_w , com fatores extrínsecos, para limitar o desenvolvimento de microrganismos.

A faixa de valores de pH de 5,60 a 6,07 determinada nas amostras ao final do processo de secagem (SC, SV e SMV) não diferem muito da faixa encontrada por Facco (2002) de 5,6 a 5,8 em amostras de charque seco ao sol. Ao final da secagem, todas as amostras apresentaram uma elevação no pH, independente do método à que foram submetidas. Segundo Roça (2000) as amostras de carne salgadas quando submetidas à secagem são aquecidas e isso ocasiona uma diminuição dos grupos de ácidos livres, sem uma diminuição correspondente dos grupos básicos (Roça, 2000), o que resulta no aumento do valor do pH. Esse aumento do pH da carne em função da elevação da temperatura provavelmente é causado pela diminuição da quantidade disponível dos grupos carboxílico das proteínas e da liberação de íons cálcio e magnésio das proteínas (Medynski et al., 2000).

Em relação à influência do pH nos processos de secagem, é interessante apontar que as amostras salgadas utilizando as formulações B e C apresentaram os menores valores de pH no início do processo de secagem. Isso, também pode ter contribuído para os menores de umidade e a_w nas amostras durante a secagem, em relação às amostras salgadas com a formulação A. Thiagarajan (2008) estudou a influência do pH na etapa de secagem de *jerked beef* utilizando micro-ondas e observou que os menores tempos e as maiores taxas de secagem foram obtidos em condições de pH mais baixo (5,15) com concentração de cloreto de sódio nas amostras de 3,28%.

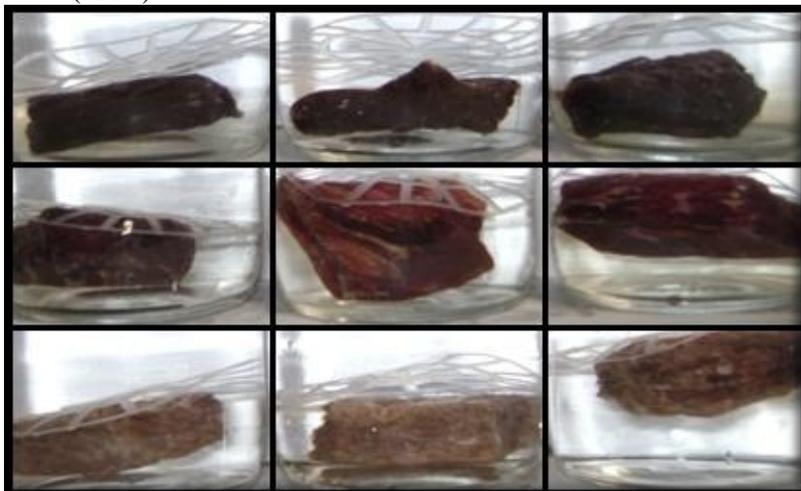
Os resultados obtidos para os parâmetros de cor ao final do processo de secagem, apresentados na Tabela 3.4, são semelhantes aos relatados por Facco (2002) e Thiagarajan (2008). Facco (2002) obteve valores de 30,8 a 42,4 para L^* , 4,2 a 10,4 para a^* e 5,9 a 9,8 para b^* , em amostra de charque seco ao sol e Thiagarajan (2008) relatou valores de 27,27 para L^* , 15,82 para a^* e 10,68 para b^* em amostras de *jerked*

beef (pH de 5,65 e concentração de NaCl 3,28%) secas por micro-ondas.

A maior variação de cor foi verificada nas amostras submetidas ao processo de SC, classificada como grande e muito grande (Tabela 2.1). Essa maior variação em relação aos demais processos se deve basicamente à redução mais intensa dos valores dos parâmetros de cor a^* e b^* . Como comentado anteriormente, a variação do a^* está relacionada com as reações da mioglobina (formação da metamioglobina de coloração marrom escura) e o b^* com as reações de oxidação lipídica. A intensidade dessas reações é atribuída às condições de processo, uma vez que na SC as amostras permanecem por um longo período a temperatura de 40 °C e na presença de oxigênio. Por outro lado, na SV e na SMV a quantidade de oxigênio é reduzida e na SMV o tempo de exposição a temperatura de 40 °C é extremamente pequeno, em relação aos demais métodos de secagem estudados.

A influência dos diferentes métodos de secagem na cor das amostras também foi observado visualmente, como pode-se verificar na Figura 3.9. Na primeira linha da Figura 3.9 são apresentadas as imagens das amostras submetidas à SC, na segunda linha das amostras submetidas à SV e na terceira linha as submetidas à SMV. A primeira coluna corresponde às amostras submetidas à salga utilizando a formulação A, a segunda coluna a formulação B e a terceira a formulação C.

Figura 3.9 Imagem dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por secagem convectiva (SC), secagem à vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).



3.2.8.2 Porosidade acessível dos cortes de carne bovina salgada e desidratada

A porosidade acessível foi determinada nas diferentes etapas do processo de elaboração (matéria-prima, salga, e secagem) do produto cárneo salgado e desidratado. Na Tabela 3.5 são apresentados os resultados da porosidade acessível dos cortes de carne bovina: *in natura*, submetidos à salga úmida com aplicação de 1PV e 3PV e desidratados pelos métodos SC, SV e SMV, utilizando diferentes formulações de salmoura (A, B e C).

Tabela 3.5 Porosidade acessível dos cortes de carne: *in natura*, submetidos à salga úmida com aplicação de 1PV e 3PV e desidratados pelos métodos SC, SV e SMV, utilizando as formulações de salmoura (A, B e C).

Amostra	Formulação	Porosidade
Carne <i>in natura</i>	-	2,64 ± 1,05 ^a
Processos de salga		
1PV	A	5,87 ± 1,23 ^b
3PV	A	4,63 ± 0,93 ^b
Processo de secagem		
SC	A	8,70 ± 1,94 ^c
	B	11,59 ± 0,56 ^c
	C	11,65 ± 1,28 ^c
SV	A	18,92 ± 3,26 ^d
	B	22,42 ± 2,36 ^d
	C	24,95 ± 2,41 ^d
SMV	A	27,77 ± 2,98 ^{de}
	B	31,10 ± 3,68 ^e
	C	33,54 ± 3,93 ^e

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Na Tabela 3.5, pode-se observar que os valores de porosidades acessível das amostras submetidas à salga com aplicação de 1PV e 3PV apresentaram um aumento de aproximadamente 2,2 e 1,7 vezes, respectivamente, em relação à amostra *in natura*. Esse aumento é atribuído a dois fatores: (i) ao aumento dos espaços entre as fibras musculares, causado pela aplicação de vácuo e (ii) a desidratação da amostra causada pelo tratamento osmótico, aumentando assim os espaços vazios da amostra.

Os resultados apresentados na Tabela 3.5 demonstram que as formulações de salmoura A, B e C não influenciaram significativamente a porosidade acessível das amostras submetidas aos diferentes métodos de secagem avaliados. Ao contrário das formulações de salmoura, os métodos de secagem possuem um efeito significativo no aumento da porosidade das amostras. Esse aumento foi gradativo em função do método de secagem, sendo os menores valores de porosidade

observados nas amostras submetidas à secagem convectiva e os maiores nas amostras submetidas à secagem por micro-ondas a vácuo. Segundo Madiouli et al. (2007), a porosidade aumenta durante a secagem quando a redução do volume da amostra é menor que o volume de água evaporada.

Os valores de porosidade das amostras desidratadas pelo método de SV e SMV foram aproximadamente 2 e 3 vezes maiores, respectivamente, em relação a amostras desidratadas pelo método de SC. Não foram encontrados trabalhos na literatura sobre valores de porosidade de charque ou *jerked beef* para a comparação.

3.2.8.3 Teste de reidratação e capacidade de retenção de água

A capacidade de reidratação da carne pode ser relacionada com as mudanças estruturais, como a porosidade (Muñoz et al., 2012) e com a qualidade do produto, como textura e outras (Nathakaranakule et al., 2007) sofridas durante a secagem. Os processos de secagem são considerados menos agressivos quanto maior for à capacidade de reidratação do produto seco. Isso, porque durante a secagem ocorre a desnaturação das proteínas miofibrilares e do tecido conjuntivo, como o colágeno. Essas proteínas quando desnaturadas apresentam uma diminuição da capacidade de retenção de água (Lawrie, 2005; Nathakaranakule et al., 2007). Os resultados de capacidade de reidratação (CR) e de capacidade de retenção de água (CRA) dos cortes de carne bovina salgados com as formulações A, B e C e desidratados por SC, SV e SMV são apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 Resultados da capacidade de reidratação (CR) e da capacidade de retenção de água (CRA) dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações (A, B e C) e desidratados por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV).

Amostra	Formulação	CR	CRA
SC	A	43,11±4,41 ^a	1,63±0,07 ^a
	B	38,95±8,52 ^a	1,51±0,03 ^a
	C	35,64±1,20 ^a	1,42±0,13 ^a
SV	A	45,60±8,33 ^a	1,35±0,14 ^a
	B	69,46±0,44 ^b	1,59±0,11 ^a
	C	79,33±9,60 ^b	1,57±0,11 ^a
SMV	A	69,37±5,64 ^b	1,23±0,21 ^a
	B	73,13±8,26 ^b	1,49±0,09 ^a
	C	101,36±9,31 ^c	1,40±0,13 ^a

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

De forma geral, os resultados apresentados na Tabela 3.6 demonstram que a capacidade de reidratação das amostras está diretamente relacionada com o método de secagem e com a porosidade. O aumento da capacidade de reidratação das amostras submetidas à SV e à SMV foi significativamente maior em relação às submetidas a SC, demonstrando coerência com o aumento da porosidade (Tabela 3.5).

Como pode ser observado na Tabela 3.6, não houve diferença significativa ($p > 0,5$) entre os valores médios de CRA dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações de salmoura (A, B e C) e desidratados por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SVM). Esses resultados também podem ser considerados como um indicativo da similaridade dos métodos de SC, SV e SMV sobre a desnaturação das proteínas, uma vez que a temperatura média de processo foi de aproximadamente 40°C em todos os métodos de secagem estudados.

3.2.8.4 *Propriedades mecânicas*

Na Tabela 3.7 são apresentados os valores médios das propriedades mecânicas dos cortes de carne bovina salgados com as formulações A, B e C e combinados com os métodos de SC, SV e SMV. Nos ensaios de corte foi determinado o valor da força máxima

($F_{\text{máx}}$) necessária para a lâmina de Warner-Bratzler cortar a amostra. A partir da análise de dupla compressão (TPA) foram obtidos os parâmetros de dureza (D), coesividade (C), elasticidade (E), gomosidade (G) e mastigabilidade (M).

Tabela 3.7 Resultados das propriedades mecânicas de força máxima ($F_{\text{máx}}$), dureza (D), coesividade (C), elasticidade (E), gomiosidade (G) e mastigabilidade (M) dos cortes de carne bovina salgados com diferentes formulações (A, B e C) e desidratados por diferentes métodos de secagem (SC, SV e SMV).

Amostra	Formulação	$F_{\text{máx}}$ (N)	D (N)	C	E	G (N)	M (N)
SC	A	117,34±18,05 ^a	132,30±14,36 ^{ab}	0,45±0,07 ^a	0,66±0,17 ^a	60,42±17,01 ^a	37,48±16,66 ^a
	B	240,91±15,23 ^{de}	332,40±15,48 ^f	0,50±0,03 ^{abc}	0,65±0,18 ^a	158,24±15,49 ^d	96,30±14,07 ^b ^c
	C	287,08±18,38 ^e	301,40±17,84 ^{ef}	0,48±0,06 ^{ab}	0,64±0,21 ^a	149,62±17,08 ^d	92,01±17,07 ^b ^c
SV	A	135,54±14,31 ^{ab}	103,46±15,04 ^a	0,47±0,12 ^{ab}	0,68±0,23 ^a	58,53±15,91 ^a	42,59±15,95 ^a
	B	252,02±17,84 ^{de}	271,81±18,94 ^{ef}	0,48±0,05 ^{ab}	0,67±0,19 ^a	132,01±18,72 ^{cd}	77,58±17,77 ^{ab}
	C	210,57±13,86 ^{cd}	242,49±17,00 ^{de}	0,50±0,05 ^{abc}	0,66±0,16 ^a	122,83±16,09 ^{bcd}	69,56±15,60 ^{ab}
SMV	A	154,85±18,63 ^{ab}	147,00±13,10 ^{abc}	0,74±0,05 ^d	0,70±0,01 ^a	95,43±17,43 ^{abc}	46,45±16,07 ^{ab}
	B	237,98±16,85 ^{de}	248,89±13,32 ^{de}	0,71±0,11 ^{cd}	0,81±0,19 ^a	163,76±16,14 ^d	125,33±16,26 ^c
	C	227,01±18,80 ^{cd}	227,47±16,10 ^d	0,68±0,11 ^{bcd}	0,72±0,22 ^a	156,32±14,60 ^d	105,66±18,65 ^{bc}
Charque Comercial	-	178,29±17,84 ^{bc}	174,92±11,37 ^c	0,48±0,05 ^{ab}	0,68±0,07 ^a	83,46±18,61 ^{ab}	67,26±18,07 ^{ab}

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Na Tabela 3.7 observa-se que os resultados da força máxima de corte (cisalhamento) para as amostras salgadas com as formulações de salmoura B e C foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que às salgadas com a formulação A, independente dos métodos de secagem (SC, SV e SMV). Uma tendência similar também foi observada para os parâmetros de dureza, gomosidade e mastigabilidade. Com relação ao parâmetro de coesividade, independente da formulação de salmoura utilizada, as amostras desidratadas pelo método de SMV apresentaram valores significativamente maiores ($p < 0,05$) quando comparadas às desidratadas pelos demais métodos. Por outro lado, não foi verificada diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de elasticidade para amostras em função das formulações e dos métodos de secagem aplicados. Esses resultados corroboram aos obtidos por outros autores que também verificaram em amostras de presunto e bacalhau, o aumento dos valores de dureza dos produtos quando salgados com cloreto de potássio, em comparação aos obtidos utilizando apenas cloreto de sódio (Martínez-Alvarez et al., 2005; Martínez-Alvarez e Gómez-Guillén, 2013).

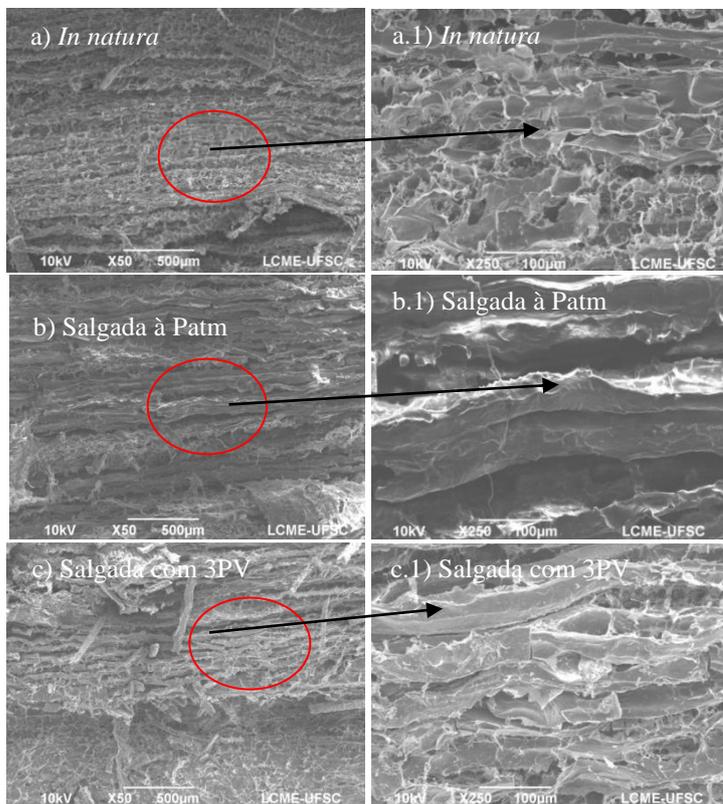
Martínez-Alvarez e Gómez-Guillén (2013) observaram que um aumento da concentração de K^+ em filés de bacalhau resultou em maiores valores de dureza no produto. Segundo esses autores, a incorporação dos íons (Na^+ , K^+ , Ca^+ e Mg^+) no músculo da carne pode afetar as propriedades funcionais da proteína muscular e a dureza do produto. O aumento da dureza foi atribuída a maior perda de água e as alterações das propriedades funcionais da proteína muscular ocasionadas pelos íons K^+ . Estes apresentam maior capacidade de alterar a estrutura nativa proteína-água que os íons Na^+ . Os autores ainda ressaltam que a impregnação do K^+ pode ter causado a contração das miofibrilas (provocando a desidratação das proteínas), levando a um estado altamente agregado, assim contribuindo para o aumento da dureza.

Ainda na Tabela 3.7 pode-se observar que os valores dos parâmetros de força máxima, dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade das amostras salgadas com a formulação A e desidratadas por diferentes métodos de secagem são semelhantes aos valores do charque comercial (seco ao sol).

3.2.8.5 Microscopias eletrônicas de varreduras dos cortes de carne bovina

Nas análises de microscopia eletrônica de varredura foram utilizadas amostras obtidas nas diferentes etapas de elaboração (matéria-prima, salga e secagem) do produto cárneo salgado e desidratado. Todas as imagens de microscopia mostram as fibras no sentido longitudinal (horizontal). Na Figura 3.11 são apresentadas as imagens de microscopia eletrônica de varredura ampliadas 50x e 250x da amostra de carne *in natura* (primeira linha) e das amostras salgadas com a formulação A por 20 minutos à Patm (segunda linha) e com 3PV (terceira linha).

Figura 3.10 Microscopia eletrônica dos cortes de carne bovina *in natura* e salgados com a formulação A à Patm e com 3PV.



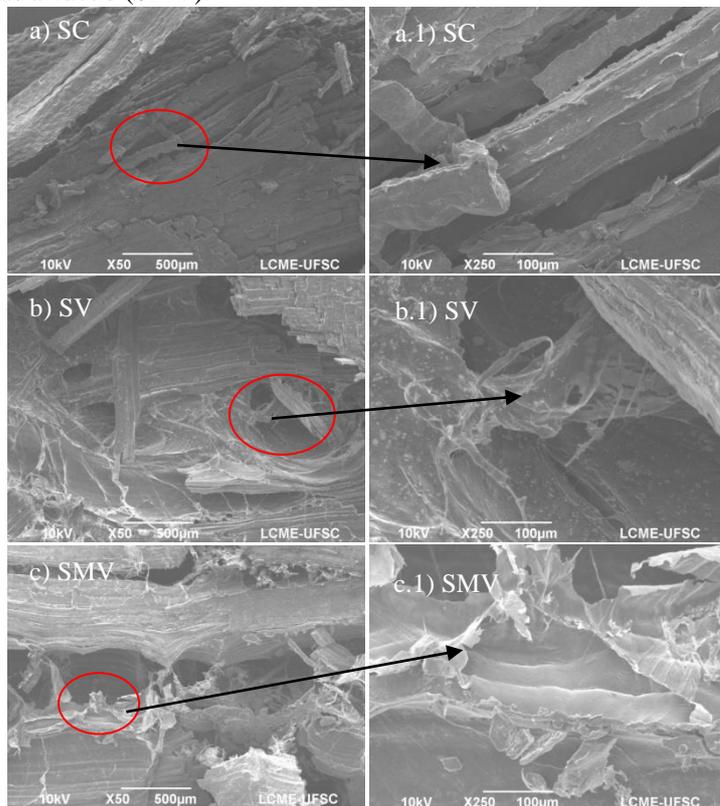
Nas Figuras 3.10a e 3.10a.1 pode-se observar que os feixes de fibras da amostra *in natura* estão alinhados paralelamente uns dos outros, quase que linearmente e bem próximos, enquanto que nas micrografias da carne salgada à Patm (Figura 3.10b, Figura 3.10b.1) é possível observar um certo afastamento entre os feixes de fibras. Esse afastamento se deve a desidratação da amostra causada pelo tratamento osmótico, aumentando assim os espaços vazios da amostra.

Nas Figuras 3.10c e 3.10c.1 pode-se observar que os feixes das fibras da amostra salgadas com 3PV aparecem de uma forma mais desorganizada (torcidos) em relação às imagens 3.10b. Essa alteração é atribuída à aplicação dos pulsos de vácuo que modifica a estrutura das

amostras. Durante a aplicação dos pulsos de vácuo, as amostras podem expandir (aumentar de volume), devido à desaeração dos poros e nessa etapa os feixes de fibras também podem se afastar, e após o restabelecimento da pressão atmosférica os feixes de fibra não voltam ao seu estado inicial, resultando em certa desorganização dos feixes.

Na Figura 3.11 são apresentadas as microscopias das amostras de carne salgadas com a formulação A e desidratadas por secagem convectiva (SC), secagem a vácuo (SV) e secagem micro-ondas a vácuo (SMV) ampliadas 50x e 250x. Na primeira linha são apresentadas as microscopias da amostra desidratada por SC, segunda linha por SV e na terceira linha SMV.

Figura 3.11 Microscopia eletrônica dos cortes de carne bovina salgados com a formulação A e com de 3PV, e desidratados pelos métodos de secagem convectiva (SC), secagem a vácuo (SV) e secagem por micro-ondas à vácuo (SMV).

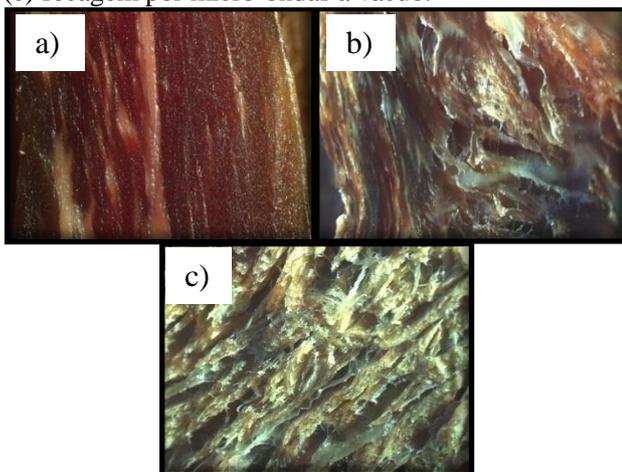


As amostras de carne quando submetidas a um processo lento de secagem podem ter um encolhimento uniforme, porém mais pronunciado, enquanto que quando submetidas a uma secagem mais rápida podem resultar em um menor encolhimento. Em consequência do menor encolhimento, os feixes de fibras da carne se mantêm mais afastados. Este comportamento pode ser observado ao se comparar as micrografias das amostras desidratadas pelo método de SV (Figuras 3.11b e 3.11b.1) e SMV (Figuras 3.11c e 3.11c.1) com as das amostras desidratadas pelo método de SC (Figuras 3.11a e 3.11a.1). O encolhimento se deve ao colapso da matriz do alimento, onde o volume

do ar no interior da amostra é reduzido, pois durante a secagem apenas uma fração do volume de água é substituído por ar e o restante (do volume correspondente à água) desaparece (Khalloufi et al., 2009).

Ainda na Figura 3.11, verifica-se um afastamento/distanciamento gradativo das fibras/feixes de fibras das amostras de carne em função do método secagem ($SC < SV < SMV$ afastamento/expansão) em que foram submetidas. O maior afastamento dos feixes de fibras das amostras na SV e na SMV (Figura 3.11b), em relação à SC, é atribuído ao aumento do volume da amostra, ocasionado pela aplicação de vácuo (mantido durante o processo) e as maiores taxas de secagem (Tabela 3.2), resultando em um produto mais poroso ao final do processo. Esse mesmo comportamento observado nas análises de microscopia eletrônica de varredura, também pode ser observado nas imagens de microscopia óptica. Na Figura 3.12 são apresentadas imagens de microscopia óptica ampliada 8.5x da carne bovina salgada e desidratada, também após serem submetidos aos métodos de SC, SV e SMV.

Figura 3.12 Imagem das amostras de carne bovina salgadas e desidratadas pelos processos de: (a) secagem convectiva, (b) secagem a vácuo e (c) secagem por micro-ondas a vácuo.



3.5. Considerações finais

Através dos termogramas de DSC é possível verificar que o aumento da concentração de sal nos cortes de carne bovina diminui significativamente a estabilidade térmica das proteínas actina, sarcoplasmáticas e miosina, assim como a entalpia de desnaturação. O conhecimento da temperatura de desnaturação das proteínas é importante para o estabelecimento da temperatura nos processos de secagem de cortes de carne salgados, de forma a evitar maior desnaturação proteica, assim mantendo suas propriedades físicas (capacidade de reidratação e retenção de água).

A maior concentração de íons K^+ nos cortes de carne bovina salgados com as formulações de salmoura B e C influenciam no aumento dos valores das propriedades mecânicas, como força de corte (força máxima), dureza, gomosidade e mastigabilidade, em relação à amostra salgada apenas com NaCl (formulação A).

Na SC a a_w de 0,70 nas amostras não é atingida em 40 horas de processo, enquanto que na SV e na SMV esse valor é atingido em aproximadamente 34 horas e 24 minutos de processo. As amostras desidratadas por SMV apresentam taxas de secagem maiores em relação aos métodos de SC e SV em aproximadamente 60 e 54 vezes, respectivamente. Isso demonstra a maior contribuição do método de aquecimento por micro-ondas na desidratação das amostras, em comparação com o mecanismo de transferência de calor convectivo presente no método de SC e condutivo na SV. O processo de SMV pode ser considerado uma alternativa viável para a redução do tempo de secagem de cortes de carne.

Os produtos cárneos salgados e desidratados com teor de sódio reduzido (versão de alimento saudável) podem ser uma alternativa interessante para a indústria cárnea, os quais podem ser produzidos a partir de sobras frigoríficas ou de cortes de carne (ponta de agulha) menos apreciados pelos consumidores. No entanto, um estudo detalhado do impacto das técnicas de substituição de NaCl por KCl e dos métodos de SV e SMV sobre a qualidade sensorial e microbiológica do produto final precisa ser avaliado.

4 DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE DESSALINIZAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DE UM CHARQUE DESSALGADO COM BAIXO TEOR DE SÓDIO

Neste capítulo é apresentada uma metodologia alternativa para a obtenção de um charque dessalgado. Essa metodologia se refere à dessalga como uma etapa adicional ao processo de fabricação industrial do charque, visando reduzir o teor de sódio através da substituição parcial do cloreto de sódio por cloreto de potássio e fornecer um produto de maior praticidade aos consumidores.

4.1 Introdução

O charque é consumido em todas as regiões do Brasil, apreciado pelo seu sabor característico e utilizado como um ingrediente em diversas receitas e pratos culinários típicos, como feijoada, arroz carreteiro e escondidinho (Shimokomaki et al., 1998; Felício, 2002; Souza et al., 2012; Correia e Biscontini, 2003). Esse precisa ser submetido à dessalga parcial antes do consumo, por apresentar elevado teor de sal (Vasconcelos et al., 2010). O processo de dessalga normalmente é realizado na cozinha dos consumidores e pode demorar até 24 horas, quando realizado sob refrigeração. Embora seja um procedimento necessário, a dessalga doméstica apresenta alguns inconvenientes, como o tempo gasto para dessalgar o produto, a deficiente remoção do sal e a ocorrência de alterações na composição química do produto, que leva a perdas nutritivas e sensoriais dependendo dos procedimentos culinários adotados (como a dessalga por fervura) (Correia e Biscontini, 2003). Além disso, há a possibilidade de contaminação microbiológica durante a manipulação, devido à redução do sal, aumento da umidade e da a_w (Duarte, 2013).

Nos últimos anos, as mudanças no estilo de vida da população e a preocupação com a saúde têm aumentado a procura por produtos de preparo rápido e com menor teor de sal (Barat et al., 2011; Ventura, 2010 - Macroplan). A procura por produtos com teor de sal reduzido tem aumentado devido à associação do consumo excessivo de sódio com doenças como a hipertensão, doenças cardiovasculares e acidente vascular cerebral (Aliño et al., 2011, Aliño et al., 2010a, Barat et al., 2012). Entre os produtos industrializados, a carne e os produtos cárneos estão em segundo lugar com maior participação na ingestão diária de

sódio na dieta. Esses representam 20,8% do consumo diário de sódio e a maior contribuição provém dos produtos cárneos industrializados (Carvalho et al., 2013). Para a redução do teor de sódio em produtos cárneos, a substituição parcial de NaCl por KCl parece ser a melhor alternativa, em função da melhor aceitação sensorial e menores alterações das propriedades físico-químicas dos produtos, como salsichas (Nascimento et al., 2007), lombo seco curado (Aliño et al., 2009) e presunto curado (Aliño et al., 2010b; Armenteros et al., 2012).

A utilização do KCl no processo de salga envolve uma grande quantidade do mesmo, aumentando assim o custo de produção. Além, da dificuldade de controlar a difusão dos íons K^+ quando presente íons Na^+ , uma vez que o coeficiente de difusão na carne é diferente, assim como a solubilidade do NaCl e KCl em água é diferente. O uso de KCl é limitado, pois dependendo da sua concentração no produto pode produzir sabor amargo, como também interferir na qualidade do produto final e afetar a vida útil (Aliño et al., 2011).

As indústrias de alimentos cientes das demandas dos consumidores estão buscando produzir alimentos que atendam as necessidades/exigências dos mesmos. Um exemplo disso são as indústrias de bacalhau que estão incluindo em suas operações industriais a etapa de dessalga, visando melhorar a qualidade do produto e atender as exigências dos consumidores em relação à redução do consumo de sódio e à praticidade (Aliño et al., 2011). A inclusão da etapa de dessalga nas indústrias de charque pode ser uma opção interessante para atender as demandas do mercado consumidor atual. Assim, podendo oferecer um produto já dessalgado e pronto para o preparo de pratos típicos. Esse, podendo ser encontrado pelo consumidor nas prateleiras do supermercado na forma refrigerada e embalado a vácuo.

Na literatura são encontrados poucos trabalhos sobre a dessalga de carnes (charque, *jerked beef*), dificultando assim o estabelecimento de um processo padrão de dessalga com base científica (Duarte, 2013). Nesse contexto, este estudo propõe uma metodologia alternativa para a substituição de sódio no charque, que consiste em substituir o NaCl pelo KCl durante a dessalga e não durante o processo de salga.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia que possa ser utilizada para a obtenção do charque dessalgado com baixo teor de sódio, consistindo na substituição da solução de dessalga por outra solução de salmoura contendo NaCl e KCl.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Matéria-prima e preparo das amostras para o processo de dessalinização

Neste estudo foram utilizadas amostras charque comercial de uma unidade produtora (Calemba®, Santo Amaro da Imperatriz, SC) e mantidas sob refrigeração a 10 °C até a sua utilização. As amostras de charque foram cortadas no formato de paralelepípedo nas dimensões de 6,0 x 6,0 x 1,5 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Inicialmente, três amostras de charque foram caracterizadas para determinar os parâmetros iniciais de umidade, a_w e concentração de NaCl do processo de dessalga. A concentração de sal no charque dessalgado foi estabelecida em 2,5% em massa g de sal 100 g⁻¹ de amostra (0,44 mol L⁻¹). Esse valor foi estabelecido com base no trabalho de Sousa (2006) em que a carne-de-sol com 3% em massa (g de NaCl 100⁻¹) foi considerada pronta para o consumo através dos resultados da análise sensorial, garantindo a palatabilidade da mesmo, sem a necessidade da etapa de dessalga.

4.2.2 Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na dessalga do charque comercial

Para a obtenção do charque dessalgado com baixo teor de sódio em relação ao comercial foram avaliados dois métodos de dessalga a 5 °C, conforme fluxograma apresentado na Figura 4.1. Os métodos estudados foram: (i) dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl realizada inteiramente à pressão atmosférica (P_{atm}) e (ii) dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl associada à aplicação de pulsos de vácuo. Esses métodos tiveram como base a metodologia descrita por Aliño et al. (2011). Em todos os processos, a relação utilizada de charque comercial:solução foi de 1:10.

Durante as etapas de dessalga a concentração de sal na amostra foi determinada pela diferença entre a concentração de sal na solução de dessalga e a concentração de sal inicial da amostra, calculada através de equações de balanço de massa. Nos cálculos de balanço de massa foi considerado o ganho de água pela amostra durante o processo de dessalga do charque comercial. A concentração de sal na solução de dessalga foi determinada de 4 em 4 horas através da análise cloretos (item 4.2.3.). Na etapa de substituição de NaCl por KCl a concentração

de sal foi determinada diretamente na amostra, através das análises íons Cl^- , Na^+ e K^+ , conforme descrito no item 4.2.3, nos tempos de 0, 12, 24, 36 e 48 horas.

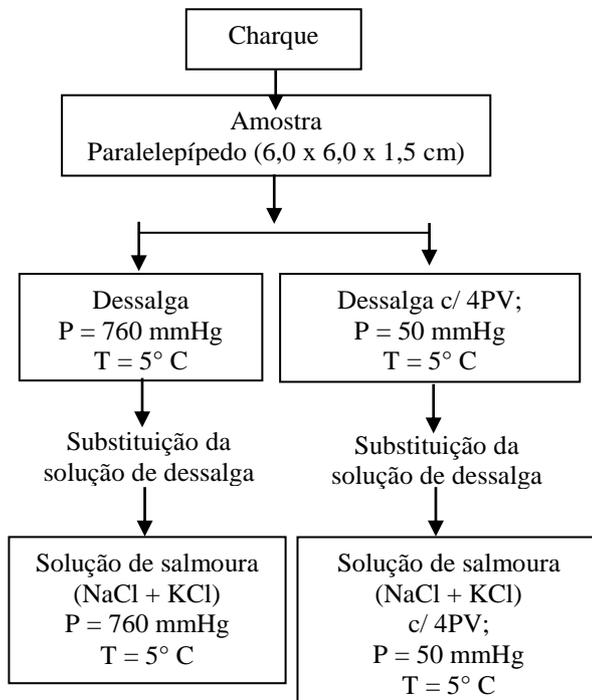
4.2.2.1 Método de dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl à pressão atmosférica

O primeiro método de dessalga constou de duas etapas: (i) dessalga à pressão atmosférica (P_{atm}) e (ii) substituição da solução de dessalga por uma solução de salmoura contendo NaCl e KCl também à P_{atm} . Na primeira etapa, as amostras de charque comercial com massa de aproximadamente 100g (com concentração de sal previamente determinada) foram imersas em água destilada a 5 °C com agitação de 30 rpm e mantidas por 48 horas até atingirem a concentração de sal desejada de 2,5% em massa (g de NaCl 100 g⁻¹ de amostra). Na segunda etapa, a solução de dessalga, em que charque estava imerso, foi substituída por uma solução de salmoura com concentração de sal de aproximadamente 0,44 mol L⁻¹ de solução, contendo 0,22 mol de NaCl L⁻¹ de solução e 0,22 mol de KCl L⁻¹ de solução.

4.2.2.2 Método de dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl associado à aplicação de pulsos de vácuo

O segundo método de dessalga foi realizado de forma semelhante ao primeiro (item 4.2.2.1), porém com aplicação de quatro pulsos de vácuo (4PV) no início da primeira etapa (na dessalga) e no início da segunda etapa (na substituição da solução de dessalga por uma solução de salmoura contendo NaCl e KCl). Os 4PV são caracterizados por uma sequência de alterações de pressão de 50 mmHg por 5 minutos, seguidos do restabelecimento da P_{atm} por 10 minutos. Essa sequência foi repetida por quatro vezes na primeira hora de cada etapa do processo, o que corresponde à aplicação de 4PV. Um fluxograma esquemático dos métodos de dessalga estudados nos ensaios experimentais é apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 Fluxograma esquemático dos métodos e etapas da dessalga do charque.



4.2.3 Análises físico-químicas para a avaliação do processo de dessalga com substituição de NaCl por KCl

As análises de umidade, a_w , cloretos (Cl^-), sódio (Na^+), potássio (K^+) e pH foram determinadas nas amostras, durante a etapa de dessalga e de substituição de NaCl por KCl à pressão atmosférica e com 4 pulsos de vácuo, conforme descrito no Capítulo 2, no item 2.2.9. Essas foram realizadas nas amostras depois de 12 horas de finalizadas as etapas de dessalga e substituição parcial de NaCl por KCl para a homogeneização da concentração de sal nas amostras.

4.2.4 Análise Estatística

Para verificar se houve diferença significativa entre os parâmetros determinados nos diferentes processos de dessalga estudados foi realizada uma análise de variância simples (ANOVA *one way*). Nos casos em que houve diferença significativa, foi aplicado o teste de *Tukey* com um nível de significância de 5%. O *software* utilizado nas análises estatísticas foi o Statistica® 7.0.

4.3 Resultados e discussões

4.3.1 Caracterização físico-química do charque comercial

O charque comercial utilizado como matéria-prima no processo de dessalga com substituição parcial de NaCl por KCl foi caracterizado em relação ao pH, umidade, a_w , teores de Na^+ e K^+ , e concentração total de sal (NaCl + KCl). Os resultados da caracterização físico-química são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Caracterização físico-química das amostras de charque comercial.

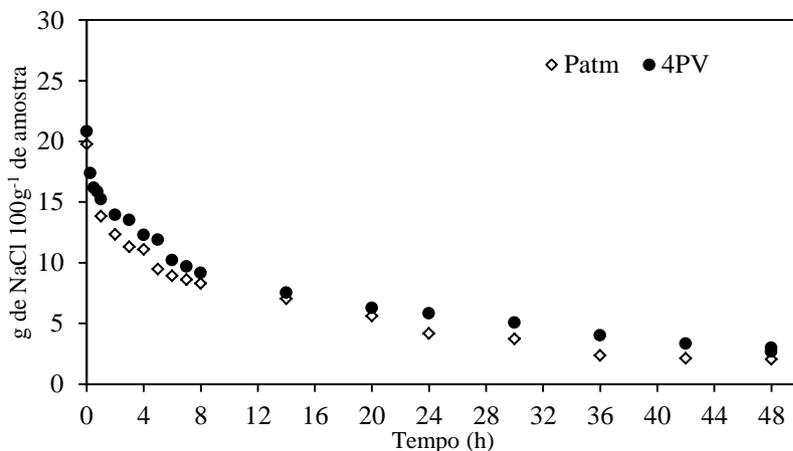
Propriedades	Charque comercial
pH	6,02±0,22
Umidade (g água/100 g ⁻¹ amostra)	42,78±2,13
Atividade de água	0,75±0,00
Cloretos (g de Cl ⁻ 100 g ⁻¹ amostra)	12,59±1,12
Sódio (g de Na ⁺ 100 g ⁻¹ amostra)	7,33±2,45
Potássio (g de K ⁺ 100 g ⁻¹ amostra)	0,22±0,01
Concentração de NaCl+KCl (g sal 100 g ⁻¹ amostra)	20,19±4,30

O valor médio de pH determinado no charque comercial está coerente ao encontrado por Facco (2002) na faixa de 5,6 a 5,8, em amostras de carne bovina salgada desidratada. Os valores de umidade estão de acordo com o valor estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1997) em que o charque deve conter uma umidade abaixo de 45% e os de a_w com Shimokomaki (2006). Segundo este a a_w do charque varia de 0,70 e 0,75. A concentração de sal determinada no charque comercial se encontra dentro da faixa relatada por Ishihara e Madruga (2013). Estes relatam que o charque de forma geral apresenta uma concentração de cloreto de sódio de 9 a 21% e esses valores podem variar em função do corte de carne empregado, do grau de gordura e da desidratação na elaboração do mesmo.

4.3.2 Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na dessalga do charque comercial.

Os processos de dessalga à Patm e com pulso de vácuo foram realizados a fim de definir o tempo necessário para as amostras de charque comercial atingirem a concentração de aproximadamente 2,5% de cloreto de sódio (considerado aceitável ao paladar). Na Figura 4.2 são apresentadas as cinéticas da redução de concentração do cloreto de sódio no charque comercial durante a dessalga convencional a pressão atmosférica (Patm) e com quatro pulsos de vácuo (4PV).

Figura 4.2 Cinética da redução de concentração de cloreto de sódio (X^{NaCl}) nas amostras de charque comercial durante o processo de dessalga à pressão atmosférica (Patm) e com quatro pulsos de vácuo (4PV).



As cinéticas de redução de sal apresentaram o mesmo comportamento para ambos os métodos de dessalga estudados. A aplicação de pulsos de vácuo (no início do processo de dessalga) não influenciou na redução da concentração do NaCl nas amostras de forma significativa ($p > 0,05$), em relação ao processo de dessalga à Patm. Na Figura 4.2 nota-se que a concentração de sal no charque comercial diminui significativamente nas primeiras 12 horas de processo. No entanto, a concentração de aproximadamente 2,5% de NaCl só foi atingida depois de 48 horas de dessalga, em ambos os métodos.

avaliados. Com base nesses resultados, foi estabelecido o tempo de 48 horas de dessalga para as amostras de charque atingirem a concentração de sal de 2,5%, independente do método de dessalga. O charque dessalgado à Patm e com 4PV pulso de vácuo foi caracterizado em relação ao pH, umidade, a_w , e concentração total de sal (NaCl+KCl) e os resultados são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Caracterização físico-química das amostras de charque dessalgado à Patm e com 4PV.

Propriedades	Charque dessalgado à Patm	Charque dessalgado com 4PV
pH	5,87±0,07 ^a	5,81±0,17 ^a
Umidade (g água/100 g ⁻¹ amostra)	76,20±2,26 ^a	77,04±0,20 ^a
Atividade de água	0,98±0,01 ^a	0,98±0,01 ^a
Cloretos (g de Cl ⁻ 100 g ⁻¹ amostra)	1,51±0,23 ^a	1,12 ±0,04 ^a
Sódio (g de Na ⁺ 100 g ⁻¹ amostra)	0,89±0,16 ^a	0,94±0,24 ^a
Potássio (g de K ⁺ 100 g ⁻¹ amostra)	0,09±0,03 ^a	0,07±0,01 ^a
Concentração de NaCl+ KCl (g 100 g ⁻¹ amostra)	2,48±0,47 ^a	2,60±0,17 ^a

Valores seguidos de mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Na Tabela 4.2 observa-se que os valores de umidade e a_w aumentaram significativamente ($p < 0,05$) no charque dessalgado, em relação ao charque comercial (Tabela 4.1). Dessa forma, a_w o produto dessalgado deverá ser embalado e mantido sob refrigeração durante o armazenamento. A aplicação de vácuo na etapa de dessalga não apresentou influência significativa ($p > 0,05$) sobre os valores das propriedades estudadas (pH, umidade, a_w , sódio, potássio e concentração de sal), em relação a dessalga à Patm. Independentemente do método de dessalga utilizado, o valor de umidade determinado nas amostras após a dessalga é semelhante ao encontrado por Correia e Biscontini (2003). Os autores estudaram a influência da dessalga sobre a composição química do charque e a umidade determinada nas amostras de charque dessalgado foi de aproximadamente 75,5±5,4 (g água 100 g⁻¹ amostra).

O efeito dos métodos de dessalga sobre as propriedades físico-químicas do charque dessalgado também foi verificado em três regiões diferentes do produto logo após a dessalga, através das análises de pH, umidade, a_w e cloretos (Cl). A primeira região (I) refere-se à superfície do produto, a segunda (II) corresponde à região intermediária entre a superfície e o centro da amostra e a terceira região (III) corresponde ao centro do produto. Essas regiões são ilustradas na Figura 4.3 e os resultados das análises físico-químicas são apresentados na Tabela 4.3.

Figura 4.3 Regiões analisadas do charque dessalgado à Patm e com 4PV.

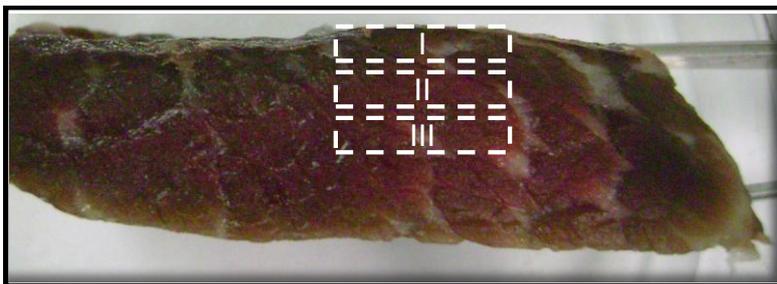


Tabela 4.3 Resultados das análises de pH, umidade, a_w e concentração de cloreto de sódio nas regiões I (superfície), II (intermediária) e III (centro), do charque dessalgado à Patm e com 4PV.

Análises	Charque dessalgado à Patm			Charque dessalgado com 4PV		
	I	II	III	I	II	III
pH	5,69±0,12 ^a	5,65±0,09 ^a	5,77±0,07 ^a	5,81±0,10 ^a	5,87±0,08 ^a	5,78±0,05 ^a
Umidade (g água/100 g ⁻¹)	75,24±2,21 ^a	71,360±2,30 ^a	69,63±1,45 ^a	75,77±2,07 ^a	76,68±1,13 ^a	68,52±3,02 ^a
a_w	0,97±0,01 ^a	0,96±0,01 ^a	0,93±0,01 ^b	0,97±0,01 ^a	0,95±0,01 ^a	0,93±0,01 ^b
Concentração de NaCl (g 100 g ⁻¹)	0,06±0,02 ^b	1,08±0,17 ^a	1,36±0,28 ^a	0,63±0,08 ^a	0,96±0,07 ^a	1,08±0,23 ^a

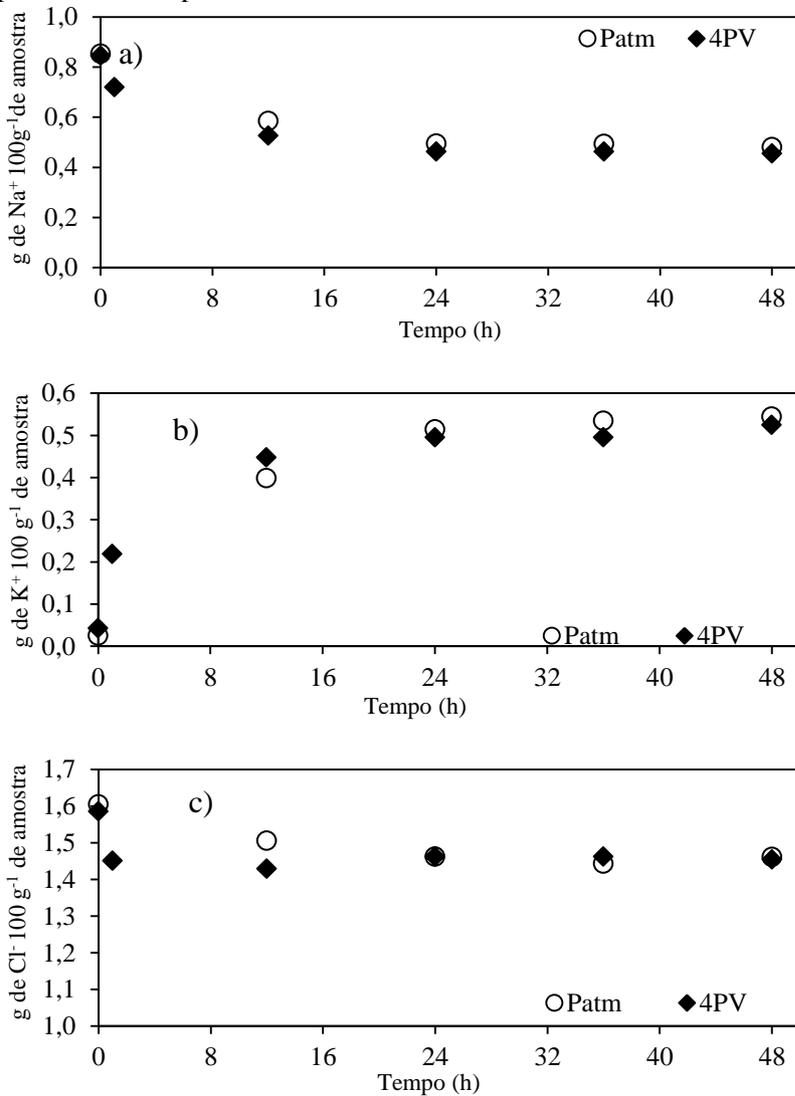
Valores seguidos de mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Como pode ser observado na Tabela 4.3, os valores mais baixos de a_w e de concentração de NaCl foram determinados na região central 'III' das amostras, em ambos os métodos de dessalga. Esses foram significativamente diferentes das regiões 'I' e 'II'. Ainda na Tabela 4.3, nota-se que a aplicação de vácuo reduziu a diferença de concentração de sal entre as regiões I, II e III, quando comparado ao método de dessalga à P_{atm} , apresentando uma distribuição de sal mais homogênea no produto. Esse comportamento é atribuído à aplicação de vácuo que ocasiona o afastamento das fibras da carne, facilitando a transferência do sal no interior do produto para a solução. Esse resultado poderia contribuir na redução do tempo de homogeneização do sal na amostra após a dessalga.

4.3.3 Avaliação da aplicação de pulsos de vácuo na substituição do NaCl por KCl no charque dessalgado.

Após 48 horas de dessalga, a solução em que o charque se encontrava imerso foi substituída por uma solução de salmoura com concentração total de sal (NaCl + KCl) de $0,44 \text{ mol L}^{-1}$ de solução, composta de 50% de NaCl e 50% de KCl). No início do processo de substituição foram aplicados quatro pulsos de vácuo. Esse processo foi comparado ao processo de substituição realizado inteiramente a pressão atmosférica com agitação. As concentração de total de sal (NaCl + KCl) nas amostras foi determinado pela soma dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- . As cinéticas da concentração de íons sódio (X^{Na^+}), íons potássio (X^{K^+}) e cloretos (X^{Cl^-}) durante a etapa de substituição de NaCl por KCl à P_{atm} e com 4PVs são apresentadas na Figura 4.4.

Figura 4.4 Cinética da concentração dos íons sódio (a), potássio (b) e cloretos (c) nas amostras de charque dessalgado com substituição parcial de NaCl por KCl à Patm e com 4PV.



Não foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os valores de concentração dos íons Na^+ (Figura 4.4a) e K^+ (Figura 4.4b) nas amostras de charque durante o processo de substituição realizada à P_{atm} e com 4PV.

Na Figura 4.4a observa-se uma diminuição da concentração dos íons Na^+ nas primeiras 24 horas de processo. Essa diminuição se deve ao gradiente de concentração de NaCl entre a amostra ($\approx 2,5\text{g}$ de NaCl 100g^{-1} amostra) e a solução de salmoura ($\approx 1,25\text{g}$ 100g^{-1} solução) e ao aumento de massa da amostra, devido o ganho de água durante a etapa de substituição de NaCl por KCl. Ao final de 48 horas do processo de substituição, o ganho de massa pelas amostras nos processos realizados à P_{atm} e com 4PV foi de aproximadamente $10,6 \pm 2,17\text{g}$ 100g^{-1} de amostra e $10,2 \pm 3,16\text{g}$ 100g^{-1} de amostra, respectivamente.

Por outro lado, na Figura 4.4b verifica-se um aumento gradativo da concentração dos íons K^+ nas amostras de charque dessalgado, nas primeiras 24 horas de processo, como era esperado. Ainda nas Figuras 4.4a e 4.4b pode-se observar que em ambos os métodos estudados, os valores de concentração ($0,5\text{g}$ 100g^{-1} amostra) de equilíbrio dos íons Na^+ e K^+ ($0,5\text{g}$ 100g^{-1} amostra) nas amostras foram atingidos no mesmo tempo de 24 horas de processo.

A concentração de íons Cl^- (Figura 4.4c) nas amostras submetidas à substituição à P_{atm} e com 4PV se manteve praticamente constante desde o início do processo. Esse comportamento era esperado, uma vez que concentração de íons Cl^- na amostra e na solução salina contendo NaCl e KCl eram semelhantes. Com base nos resultados observados nas Figuras 4.4a, 4.4b e 4.4c, o tempo necessário para as amostras atingirem o equilíbrio, ou seja, a concentração desejada de sal (NaCl + KCl) de 2,5% é de 24 h.

Na Tabela 4.4 são apresentadas as características físico-químicas do charque dessalgado com substituição de NaCl por KCl pelo método à P_{atm} e com 4PV. Esses também foram caracterizados em relação ao pH, umidade, a_w , teor de Na^+ e K^+ e concentração de sal (NaCl+KCl).

Tabela 4.4 Caracterização físico-química das amostras de charque dessalgado com substituição de NaCl por KCl à Patm e com 4PV.

Propriedades	Dessalga e substituição à Patm	Dessalga e substituição com 4PV
pH	5,95±0,04 ^a	5,85±0,07 ^a
Umidade (g água 100 g ⁻¹)	77,85±1,63 ^a	78,26±0,07 ^a
Atividade de água	0,98±0,01 ^a	0,98±0,01 ^a
Sódio (g de Na ⁺ 100 g ⁻¹)	0,44±0,10 ^a	0,46±0,17 ^a
Potássio (g de K ⁺ 100 g ⁻¹)	0,47±0,08 ^a	0,50±0,12 ^a
Concentração de NaCl+KCl (g 100 g ⁻¹)	2,41±0,34 ^a	2,42±0,27 ^a

Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey* com um nível de significância de 5%.

Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os valores de pH, umidade, atividade de água e concentração total de sal (NaCl+KCl) nas amostras de charque dessalgado com substituição (Tabela 4.4) à Patm e com 4PV e em relação ao charque dessalgado sem substituição, contendo apenas NaCl (Tabela 4.3). Nas amostras de charque dessalgado com substituição o teor de sódio foi reduzido em aproximadamente 50% tanto pelo método à Patm quanto pelo método com aplicação de 4PV. Ambos os métodos de dessalga com substituição permitiram obter um produto dessalgado com teor de sódio reduzido, com valores de umidade e a_w semelhantes ao charque dessalgado (Tabela 4.3).

4.4 Considerações Finais

Os métodos de dessalga com substituição de NaCl por KCl à Patm e com 4PV não apresentam diferenças entre si na redução do tempo de processo. Ambos, os métodos permitem a obtenção de um produto com teor de sódio reduzido e com propriedades físico-químicas semelhantes ao charque dessalgado sem substituição. Os resultados de concentração sal (NaCl + KCl) estipulado (2,5 4g 100g de amostra) e os obtidos no produto final de aproximadamente 2,4g 100g de amostra, demonstram a viabilidade das metodologias estudadas.

5 CONCLUSÕES FINAIS

O estudo de novos processos para elaboração de produtos cárneos é de extrema importância para as indústrias frigoríficas. Os resultados obtidos nesse trabalho têm relevância tecnológica para a concepção de novas formas de processamento que permitem agregar valor à carne bovina. Com base nas considerações finais de cada capítulo podem ser destacadas as seguintes conclusões:

- A aplicação de pulsos de vácuo no início da salga (úmida e mista) possibilita o aumento da impregnação de sal em cortes de carne bovina, devido à contribuição sinérgica do mecanismo hidrodinâmico (HDM) aos mecanismos osmóticos e difusivos envolvidos no processo e pode ser utilizada para reduzir o tempo de salga.

- A utilização de formulações de salmouras mistas contendo cloreto de sódio e potássio durante o processo de salga demonstra ser uma tecnologia de grande potencial na redução do sódio em produtos cárneos salgados. O KCl permite reduzir o teor de sódio nos cortes de carne bovina sem alterar de forma significativa as propriedades físico-químicas do produto.

- O método de secagem por micro-ondas a vácuo apresenta-se como uma excelente alternativa na redução do tempo de processo em comparação com os métodos de secagem convectiva e a vácuo. As formulações de salmoura B (75% de NaCl e 25% KCl) e C (50% de NaCl e 50% de KCl) não influenciam nos tempos de secagem dos cortes de carne, em relação a formulação A (100% NaCl) quando submetidos aos métodos de secagem convectiva, a vácuo e micro-ondas a vácuo.

- O estudo das cinéticas de salga (WL , SG , ML e a_w), de secagem (umidade e a_w) e de dessalga (concentração de sal) foram fundamentais para estabelecer o término de cada etapa dos processos estudados, de forma a obter a concentração de sal e atividade de água desejada nos produtos finais.

- A técnica de salga úmida com 3PV, utilizando as formulações de salmoura B e C, integrada ao método de secagem por micro-ondas a vácuo permite a elaboração de um produto cárneo salgado desidratado com teor sódio reduzido e menor tempo de processo, aproximadamente 2 dias, quando comparado ao tempo de fabricação do charque comercial de aproximadamente 15 dias.

- A substituição de sódio por potássio na dessalga do charque comercial foi alcançado com êxito, indicando a viabilidade da

metodologia proposta. O charque dessalgado contendo cloreto de potássio apresenta características físico-químicas similares as do charque dessalgado contendo apenas cloreto de sódio.

Os produtos cárneos salgados e desidratados e o charque dessalgado com teor de sódio reduzido (versão de alimento saudável) podem ser uma alternativa interessante para a indústria cárnea e podem ser produzidos a partir de sobras frigoríficas ou de cortes de carne (ponta de agulha) menos apreciados pelos consumidores. No entanto, um estudo detalhado do impacto das técnicas de substituição de NaCl por KCl e dos métodos de SV e SMV sobre a qualidade sensorial e microbiológica do produto final precisa ser avaliado.

5.1 Propostas para Trabalhos Futuros

As alternativas para a produção e comercialização de carne salgada e desidratada com baixo teor de sódio estudada no presente trabalho despertaram interesse e podem ser citadas algumas sugestões para trabalhos futuros, como:

- Avaliar a influência das formulações de salmoura B e C e dos métodos de secagem (SC, SV e SMV) na desnaturação das proteínas.

- Avaliar a oxidação lipídica dos produtos cárneos salgados com diferentes formulações de salmoura e desidratados pelos métodos de SC, SV e SMV, assim como o charque dessalgado com substituição parcial de NaCl por KCl

- Realizar a avaliação microbiológica, sensorial e vida útil dos cortes de carne salgados e desidratados e do charque dessalgado.

6 REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Disponível em <www.abiec.com.br> Acesso em 10 Novembro, 2014.
- AHRENS, G.; KRISZIO, H.; LANGER, G. Microwave Vacuum Drying in the Food Processing Industry. **Report from the 8th International Conference on Microwave and High Frequency Heating held in Bayreuth, Germany, September 3–7, 2001** – Publicado em 2006
- AIURA F.S.; CARVALHO, M.R.B.; VIEGAS, E.M.M.; KIRSCHNIK, P.G.; LIMA, T.M.A. Conservação de filés de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) em salga seca e salga úmida. **Arq.Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 60, n.6, p.1531-1537, 2008
- AKTAS, N.; KAYA, M. The influence of marinating with weak organic acids and salts on the intramuscular connective tissue and sensory properties of beef. **Eur Food Res Technol**, v.213, p.88–94, 2001.
- ALBARRACÍN, W.; SÁNCHEZ, I.C.; GRAU, R.; BARAT, J.M. Salt in food processing; usage and reduction: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.46, p. 1329–1336, 2011.
- ALIÑO, M.; FUENTES, A.; FERNÁNDEZ-SEGOVIA, I.; BARAT, J.M. Development of a low-sodium ready-to-eat desalted cod. **Journal of Food Engineering**, v.107, p. 304–310, 2011.
- ALIÑO, M.; GRAU, R.; FUENTES, A.; BARAT, J.M. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 198–205, 2010b.
- ALIÑO, M.; GRAU, R.; TOLDRÁ, F.; BARAT, J.M. Physicochemical changes in dry-cured hams salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride, **Meat Science**, v. 86, p. 331–336, 2010a.

- ALIÑO, M.; GRAU, R.; TOLDRÁ, F.; BLESAS, E.; PAGÁN, M.J.; BARAT, J.M. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. **Meat Science**, v. 83, p. 423–430, 2009.
- ALVES, L. L.; DELBEM, Á.C.B.; ABREU, U.G.P.; LARA, J.A.F. Avaliação físico-química e microbiológica da carne soleada do Pantanal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p. 729-734, 2010.
- ALVES, L.L. **Avaliação físico-química e microbiológica da carne soleada do pantanal**. 2008. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008.
- AMARAL, I.C., **Aplicação da técnica do bospeckle laser na determinação de fenômenos biológicos relacionados à maturação da carne bovina**. 2012. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de sistema) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em <www.anvisa.gov.br> Acesso em 10 de Novembro, 2014.
- AOAC. Association Of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 18.ed. Washington: AOAC, 2007. 3000p.
- ARMENTEROS, M.; ARISTOY, M.C.; BARAT, J.M.; TOLDRÁ, F. Biochemical and sensory changes in dry-cured ham salted with partial replacements of NaCl by other chloride salts, **Meat Science**, v.90, p. 361–367, 2012.
- ARNAU, J.; SERRA, X.; COMAPOSADA, J.; GOU, P.; GARRIGA, M. Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. **Meat Science**, v. 77, p. 81–89, 2007.
- AZUARA, E.; CORTES, R.; GARCIA, H.; BERISTAIN, C.I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second Law. **International Journal of Food Science and Technology**, v.27, p. 409-418, 1992.

- BARAT, J.M.; BAIGTS, D.; ALINO, M.; FERNANDEZ, F.J.; PEREZ-GARCIA, V.M. Kinetics studies during NaCl and KCl pork meat brining. **Journal of Food Engineering**, v.106, p. 102–110, 2011.
- BARAT, J.M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices. **Food Science and Technology International**, v. 7, n. 5, p. 451–456, 2001.
- BARAT, J.M.; PÉREZ-ESTEVE, E.; ARISTOY, M.C.; TOLDRÁ, F. Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts. A review. **Plant and Soil**. V. 368, n. 1-2, p. 179-188, 2012.
- BARAT, J.M.; RODRIGUEZ-BARONA, S.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Cod salting manufacturing analysis. **Food Research International**, v. 36, p.447–453, 2003.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydration de Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2000. 297p.
- BONA, E.; BORSATO, D.; SILVA, R.S.S.F.; SILVA, L.H.M. Difusão multicomponente durante a salga mista de queijo prato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, p.394-400, 2005.
- BORIN, I.; FRASCARELI, E.C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p. 39-50, 2008.
- BRASIL, 2001. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Carne Bovina Salgada Curada Dessecada ou Jerked Beef. Instrução Normativa nº. 22, de 31/07/2000. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2000.
- BRASIL, 2001. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e qualidade de produtos cárneos

salgados. Instrução Normativa nº. 6, de 15/02/2001. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 12 de 2 de janeiro de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. 2001

BRASIL. 2014. Portal Brasil. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/saude/2014/08/acordo-entre-governo-e-industria-retira-toneladas-de-sodio-de-alimentos>> Acesso em 30 Novembro, 2014.

BROS, M.; ARNAUD, E.; LOISEAU, G.; TALON, R.; COLLIGNAN, A. Feasibility of coupling dehydration-impregnation by soaking treatment of meat with fermentation by *Lactobacillus sakei*. **Journal of Food Science**, v. 77, p. M434-M442, 2012.

BRUNTON, N.P.; LYNG, J.G.; ZHANG, L.; JACQUIER, J.C. The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef biceps femoris muscle during cooking from 5 to 85°C. **Meat Science**, v.72, p. 236–244, 2006.

CAPACCIONI, M.E.; CASALES, M.R.; YEANNES, M.I. Acid and salt uptake during the marinatig process of *Engraulis anchoita* fillets influence of the solution: fish ratio and agitation. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, p. 884-890, 2011.

CARCIOFI, B.A.M. **Dinâmica da impregnação a vácuo em meios porosos**. 2009. 94p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CARVALHO, G.G.A. 2012. **Salga e dessalga de peixes: Aspectos químicos, físicos e efeito antioxidante do extrato aquoso de manjeriço (*Ocimum basilicum*)**. 2012. 60p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Departamento de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

- CARVALHO, C B.; MADRONAA, G. S.; RYDLEWSKIA, A. A.; CORRADINIA, S. A. da S.; PRADOA, I. N. do. Análise Sensorial de Carnes Bovina e de Frango Com Tempero Completo Hipossódico. **UNOPAR Científica Ciências Biológica Saúde**, v.15, p. 215-218, 2013.
- CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ORTOLÁ, M.D.; CHIRALT, A. Long Term Osmotic Dehydration Processes of Orange Peel at Atmospheric Pressure and by Applying a Vacuum Pulse. **Food Science and Technology International**; v.7, n. 6, p. 511–520, 2001.
- CHANG, H.J.; WANG, Q.; ZHOU, G.H.; XU, X.L.; LI, C.B. Influence of weak organic acids and sodium chloride marination on characteristics of connective tissue collagen and textural properties of beef semitendinosus muscle, **Journal of Texture Studies**, v. 41, p. 279–301, 2010.
- CHEN, X.D.; MUJUMDAR, A.S. Drying Technologies in Food Processing. **Chennai: Blackwell Publishing**, 2008. 322p.
- CHIRALT, A. et al. Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 141-151, 2001.
- CHIRALT, A.; FITO, P. Transport mechanisms in osmotic dehydration: the role of the structure. **Food Science and Technology International**, v.9, p. 179- 186, 2003.
- COLLIGNAN, A., BOHUON, P., DEUMIER, F., & POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, 153-162, 2001.
- CORREIA, R.T.P.; BISCONTINI, T.M. B. Influência da dessalga e cozimento sobre a composição química e perfil de ácidos graxos de charque e *jerked beef*. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.23, n. 1, p. 38-42, 2003.

- CORZO, O.; BRACHO, N. Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 535–541, 2006.
- CORZO, O.; RODRÍGUEZ, J.; GONZÁLEZ, V. C. Efectos del reemplazo parcial de cloruro de sodio sobre la transferencia de masa en el salado en pila de láminas de carne caprina. **FCV-LUZ**, v. 22, n 1, p. 59 - 64, 2012
- COSTA, R. G.; SANTOS, N. M.; SOUSA, W. H.; QUEIROGA, R. C. R. E.; AZEVEDO, P. S.; CARTAXO, F. Q. Qualidade física e sensorial da carne de cordeiros de três genótipos alimentados com rações formuladas com duas relações volumoso:concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.8, p.1781-1787, 2011.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.
- DESMOND, E. M.; KENNY, T. A.; WARD, P.; SUN, D-W. Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints. **Meat Science**, v.56, p. 271-277, 2000.
- DEUMIER, F. et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 75-83, 2003a.
- DEUMIER, F. et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 85-93, 2003b.
- DROUZA, F, A.E.; SCHUBERT, H. Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits. **Journal of Food Engineering**, v.28, p. 203-220, 1996.
- DUARTE, A.C.B. Método de dessalga de *jerked beef* como procedimento para garantir inocuidade. 2013. 75p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Departamento de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

- FACCO, E.M.P. **Parâmetros de qualidade do charque relacionados ao efeito da suplementação de vitamina e na dieta de bovinos da raça nelore em confinamento**. 2002. 100p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) – Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- FACCO, E.M.P.; LAGE, M.E.; GODOY, H.T. Influence of vitamin e supplemented diet on charque quality and lipid stabilization. **Brazilian Archives of Biology And Technology**, v.52, p. 729-736, 2009.
- FELÍCIO, P.E. de. **Qualidade da carne bovina: características físicas e organolépticas**. In: XXXVI Reunião Anual da SBZ, 1999, Porto Alegre. Anais. Rio Grande do Sul: Sociedade Brasileira de Zootecnia (no prelo).
- FELÍCIO, P.E. de. Charque. **ABCZ**, v.1, n. 6, p.54, 2002a.
- FELÍCIO, P.E. de. Carne de sol. **ABCZ**, v.2, n.86, p.158, 2002b.
- FELLOWS, P.J., **Food Processing Technology –Principles and Practice**.2^a.ed, Cornwall: Woodhead Publishing Limited, 2000. 575p.
- FIGIEL, A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. **Journal of Food Engineering**, v.98, p. 461–470, 2010.
- FITO, P. ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v.27, p. 229-240, 1996.
- FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v.22, p. 313-328, 1994.
- FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.M.; ANDRÉS,A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE,N. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 297–302, 2001.

- FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional Mechanisms Occurring during Vacuum Osmotic Dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 5 13-519,1994.
- FOERST, P., KULOZIK, U. Validation of a novel in situ weighing system during vacuum drying. **Drying Technology**, v. 25, p. 767-773, 2007.
- FolhaweB. Exportação da carne de charque brasileira é aprovada pela União Européia. Disponível em: <http://www.folhabv.com.br/noticia.php?id=147036>>. Acesso em: Janeiro de 2014.
- FORTUNY, M.; RAMOS, A.L.D.; DARIVA, C.; EGUES, S.M. DA S.; SANTOS, A.F.; NELE, M.; COUTINHO, R.C.C. Principais aplicações das microondas na produção e refino de petróleo. **Química Nova**, v.31,1553-1561, 2008.
- FRANCO, B.D.G.DE.M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2003. 180p.
- FURTADO, S.M.B.; SHIMOKOMAKI, S.; ROMANELLI, P.F.; RODRIGUES-AWAYA, D.B. Avaliação da qualidade da carne caprina salgada. **Higiene Alimentar**, v. 5, n. 18, p. 34-38, 1991.
- FURUKAWA, V.A., SOBRAL, P.J.A.; HABITANTE, A.M.Q.B.; GOMES, J.D.F. Análise térmica da carne de coelhos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24(2), p.265-269, 2004.
- GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B. E FRIAS. **Tecnologia de alimentos. Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 513p.
- GAYA, L.DE G. **Estudo genético da qualidade de carne de linhagem macho de frangos de corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Ciências Básicas, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006. 129p.
- GEANKOPLIS, C.J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3ª ed. México: Continental, 1998. 1007 p.

- GIMÉNEZ, A.; ARES, F.; ARES, G. Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches. **Food Research International**, V. 49, p. 311–325, 2012.
- GOUVÊA, J.A.G.DE.; GOUVÊA, A.A.L.DE. Dossiê técnico - tecnologia de fabricação do charque. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA. Bahia: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2007. 25p.
- GRAIVER, N.; PINOTTI, A.; CALIFANO, A.; ZARITZKY, N. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 910–918, 2006.
- GRAU, R.; ALBARRACÍN, W.; PÉREZ, M.T.; ANTEQUERA, T.; BARAT, J.M. Use of simultaneous brine thawing/salting in dry-cured Iberian ham production. **Journal of Food Engineering**, v.104, p. 316–321, 2011.
- GOLI, T.; BOHUON, P.; Ricci, J.; TRYSTRAM, G.; COLLIGNAN, A. Mass transfer dynamics during the acidic marination of turkey meat. **Journal of Food Engineering**, v.104, 161–168, 2011.
- GUERRA, A.T. Bioquímica estrutural. v. 1. João Pessoa: UFP. 2011.
- HAGHI, A.K.; AMANIFARD, N. Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.25, n.3, p. 491-501, 2008.
- HOFMEISTER, L.C.; SOUZA, J.A.R.; LAURINDO, J.B. Use of dyed solutions to visualize different aspects of vacuum impregnation of Minas cheese. **LWT-Food and Science Technology**, v. 38, n. 4, p. 379-386, 2005b.
- HOFMEISTER, L.C.; SOUZA, J.A.R.; PETRUS, J.C.C.; LAURINDO, J.B. Salga de queijo tipo minas por impregnação a vácuo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25 (3). p. 487-494, 2005a.
- ISHIHARA, Y. M., **Estudo da maciez em carne-de-sol**. 2012. 90p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de

Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

JANGAM, S.V., & MUJUMDAR, A.S. **Drying of foods, vegetables and fruits**. v. 1, Singapore: Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar A.S, 2010. 202p.

JAYA, S., DAS, H.A vacuum drying model for mango pulp. **Drying Technology**, v. 21, n.7, p.1215-1234, 2003.

KAZEMI, S.; NGADI, M.O.; GARIÉPY, C. Protein denaturation in pork longissimus muscle of different quality groups. **Food Bioprocess Technology**, v.4. p. 102–106, 2011.

KHALLOUFI, S. ALMEIDA-RIVERA, C., BONGERS, P.A theoretical model and its experimental validation to predict the porosity as a function of shrinkage and collapse phenomena during drying. **Food Research International**, v. 42, p. 1122–1130, 2009.

KIJOWSKI, .M.; MAST, M.G. Effect of Sodium Chloride and Phosphates on the Thermal Properties of Chicken Meat Proteins. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p.367-387, 1988.

KYLA–PUHJU, M.; RUUSUNEN, M.; KIVIKARI, R.; PUOLANNE, E. The buffering capacity of porcine muscles. **Meat Science**, v. 67, p. 587–593, 2004.

KONICA MINOLTA SENSING INC. **Comunicação precisa de cor: controle de qualidade da percepção à instrumentação**. 53 p. 1998. Disponível em:
<http://www.konicaminolta.com/sensingusa/support/product_applications>. Acesso em: dez. de 2014.

LARRAZABAL-FUENTES, M.J.; ESCRICHE-ROBERTO, I.; CAMACHO-VIDAL, M.D.M. Use of immersion and vacuum impregnation in marinated salmon (*salmo salar*) production. **Journal of Food Processing and Preservation** , v.33, p.635–650, 2009.

- LAWLESS, H. T. RAPACKI, F., HORNE, J., HAYES, A. The taste of calcium and magnesium salts and anionic modifications. **Food Quality and Preference**, v. 14, n. 4, p. 319-325, 2003.
- LAWRIE, R.A. **Ciência da carne**.6^a.ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 384p.
- LEMONS, A.L.S.C.; NUNES, D.R.M.; VIANA, A.G. Optimization of the still-marinating process of chicken parts. **Meat Science**, v. 52, p. 227-234, 1999.
- LOUKA, N.; ALLAF, K. New process for texturizing partially dehydrated biological products using controlled sudden decompression to the vacuum: application on potatoes. **Journal of Food Science**, v. 67 (8), p. 3033-3038, 2002.
- LYNG, J.G.; ZHANG, L.; BRUNTON, N.P.A survey of the dielectric properties of meats and ingredients used in meat product manufacture. **Meat Science**, v.69, p. 589–602, 2005.
- MAI, I. **Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de computador como laboratório de Física**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. 143p.
- MANAFZADEH, A. EMAM-DJOMEH, Z., FADAEI, V. Investigation on the drying effects on nutritional attributes of dried lamb meat. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 4, n., 6, p .987 – 991, 2013.
- MANCINI, R.A.; HUNT M.C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, p. 100–121, 2005.
- MAPA, 2013 - MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- MARTÍNEZ-ALVAREZ, O.; GÓMEZ-GUILLÉN, C. Influence of mono- and divalent salts on water loss and properties of dry salted cod fillets. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, p. 387-394, 2013.

- MARTÍNEZ-ALVAREZ, O.; BORDERÍAS, A.J.; GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. Sodium replacement in the cod (*Gadus morhua*) muscle salting process. **Food Chemistry**, v. 93, p. 125–133, 2005.
- McDonald, K.; SUN, D.W. The formation of pores and their effects in a cooked beef product on the efficiency of vacuum cooling. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 175-183, 2001.
- MCGOUGH, M.M.; SATO, T.; RANKIN, S.A.; SINDELAR, J.J. Reducing sodium levels in frankfurters using naturally brewed soy sauce. **Meat Science**, v.91, p. 69–78, 2012.
- MEDYNSKI, A.; POSPIECH, E.; KNIATA, R. Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. **Meat Science**, v.55, p. 285-290, 2000.
- MERCALI, G.D.; KECHINSKI,C.P.; COELHO, J.A.; TESSARO I.C.; MARCZAK, L.D.F. Estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica de mirtilo. Brazil **Jornal Food Technology**, v.13 (2), p. 91-97, 2010.
- MINOLTA. Precise color communication: color control from perception to Instrumentation. Japan: Minolta Co. Ltd., 2007.
- MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**. 5ª ed. Howard :John Wiley & Sons Ltd, 2006. 831p.
- MUJUMDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying**. 3ª ed. CRC press. 2006. 1287p.
- MUÑOZ, I.; GARCIA-GIL, N.; ARNAU, J.; GOU, P. Rehydration kinetics at 5 and 15 °C of dry salted meat. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 465–471, 2012.
- NASCIMENTO, E.P.S. **Efeito do ácido láctico sobre as características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais na carne de sol**. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Departamento de

Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. 103p.

NASCIMENTO, R.; CAMPAGNOL, P.C.B.; MONTEIRO, E.S.; POLLONIO, M.A.R. Substituição de cloreto de sódio por cloreto de potássio: influência sobre as características físico-químicas e sensoriais de salsichas. **Alim. Nutr.**, v.18 (3), p. 297-302, 2007.

NATHAKARANAKULE, A.; KRAIWANICHKUL, W.; SOPONRONNARIT, S. Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 1023–1030, 2007.

NIMMANPIPUG, N.; THERDTHAI, N.; DHAMVITHEE, P. Characterisation of osmotically dehydrated papaya with further hot air drying and microwave vacuum drying. **International Journal of Food Science and Technology**. p. 1-8, 2013

OLIVO, R. **O mundo do frango: cadeia produtiva da carne de frango**. Editado por Rubison Oivo, Criciúma – SC, 2006. 680 p.

PACHECO, J.W.; YAMANAKA, H.T. **Guia técnico ambiental de abates** (bovino e suíno). São Paulo : CETESB, 2006.98p.

PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 2. ed. Goiânia: UFG, 2001.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrus sp.) em fatias. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.21(3), p. 288-292, 2001.

PEREDA, J.A. O.; RODRÍGUEZ, M. I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G. de F.; PERALES, L. de La H., CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de Alimentos - Alimentos de Origem Animal**, v. 2, Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p.

PEZANTES, D. V. **Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de**

bonito(*Sarda sarda*).Tese (Doutorado Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. 250 p.

PINTO, M.F.; PONSANOVA, E.H.G.; FRANCO, B.D.G.M., SHIMOKOMAKI, M. Charqui meats as fermented meat products: role of bacteria for some sensorial properties development. **Meat Science**, v.61, p.187–191, 2002.

QUINN, J.R.; YMOND, D.P.R.A.; HARWALKAR, V.R. Differential scanning calorimetry of meat proteins as affected by processing treatment. **Jurnal of food science**. v. 45, p.1146 -1149, 1980.

RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Foods cience & Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value food as: a review. **Journal of food engineering**. v. 49, p. 311-319, 2001.

RISPOA - Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de origem Animal. Brasília, DF, 1952.

ROÇA, R.O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2000. 202p.

ROCHA, I.F.O. **Estudos psicofísicos de formulações de sais hipossódicos: otimização, perfil sensorial e aceitação junto aos consumidores**. Dissertação (Mestrado Alimentos e Nutrição) – Departamento de Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. 131 p.

SANCHEZ, J. **Principios técnico de salado y secado del pescado estudio químico de la sal en el litoral**. Instituto del mar del Peru. vol.1, n. 9, La Punta, Calloo, Perú 1965.

SABADINI, E.; CARVALHO, B.C.J.R.; SOBRAL, P.J.DO.A.; HUBINGER, M.D. Mass transfer and diffusion coefficient determination in the wet and dry salting of meat. **Drying Technology**, v.16, p. 2095-21 15, 1998.

- SABADINI, E.; HUBINGER, M.D.; SOBRAL, P.J. do A.; CARVALHO, B.C.Jr. Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. **Ciência Tecnologia. Alimentos**, v.21(1), p. 14-19, 2001.
- SCHMIDT, F.C. **Estudo das trocas de massa durante o tratamento de corte de peito de frango com soluções salinas**. 2006. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SCHMIDT, F.C.; ARAGÃO, G.M.F.; LAURINDO, J.B. Integrated cooking and vacuum cooling of chicken breast cuts in a single vessel. **Journal of Food Engineering**, v.100, p. 219–224, 2010.
- SCHMIDT, F.C.; CARCIOFI, B.A.M.; LAURINDO, J.B. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 366-372, 2008a.
- SCHMIDT, F.C.; CARCIOFI, B.A.M.; LAURINDO, J.B. Salting operational diagrams for chicken breast cuts: Hydration–dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.88, p. 36–44, 2008b.
- SCHUBERT, H.; REGIER, M. Novel and traditional microwave applications in the food. Industry. Advances in Microwave and Radio Frequency Processing Report from the 8th International Conference on Microwave and High Frequency Heating held in Bayreuth, Germany, September 3–7, 2001. 773p – Publicado em 2006.
- SENISE, J.T.; JERMOLOVICIUS, L.A. Microwave chemistry - a fertile field for scientific research and industrial applications. **Proceedings SBMOIEEE MITT-SIM OC**. v. 01, p. 7803-7824, 2003.
- SERENO, A. M.; SILVA, M. A.; MAYOR, L. Determination of Particle Density and Porosity in Foods and Porous Materials with High Moisture Content. **International Journal of Food Properties**, v. 10, p. 455–469, 2007.

- SHIMOKOMAKI, M., FRANCO, B.D.G.M.; BISCONTINI, T.M.; PINTO, M.F.; TERRA, N.N.; ZORN, T.M.T. Charqui meats are hurdle technology meat products. **Food Reviews International**, v.14, n. 4, p. 339-349, 1998.
- SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R.; TERRA, N.N.; FRANCO, B.D.G.M. **Atualidades em ciências e tecnologia de carne**. São Paulo: Livraria varela, 2006. 236p.
- SOUSA, F.F.DE.; MONTEIRO, C.M.DE.O.; Pena, H.W.A. **Participação do charque na despesa com alimentação na região metropolitana de Belém - PA, Amazonia-Brasil, 2012**. Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará, p. 1-15, 2012.
- SOUZA, N.L. 2006. **Efeito da combinação de sal com lactato e diacetato de sódio nas características sensoriais, físico-químicas, cor e textura de um produto similar à carne-de-sol**. 2006. 112p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- SOUZA, R.O.M.A.DE.; MIRANDA, L.S.M. Irradiação de micro-ondas aplicada à síntese orgânica: uma história de sucesso no brasil. **Química Nova**, v.34, n. 3, p.497-506, 2011.
- NEPA. (NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO). **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. 4. ed. Campinas: UNICAMP, 2011. 163p. Acesso em: 23 out. 2014. Online. Disponível em:
<<http://www.unicamp.br/nepa/taco/tabela.php?ativo=tabela> >
- THIAGARAJAN, I.V. COMBINED MICROWAVE - **Convection drying and textural characteristics of beef jerky**. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado em Science) - Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2008.
- THORARINSDOTTIR, K.A.; ARASON, S.; GEIRSDOTTIR, M.; BOGASON, S.G.; KRISTBERGSSON, K. Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by

electrophoresis and differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, v.77, p. 377–385, 2002.

TOOMIK, P.; LEPP, K.; LEPASALU, L.; PÜSSA, T. The effect of tenderizing acids on linoleic acid oxidation during marination of pork. **Meat Science**, v. 92, p.870–873, 2012.

TORRES, E.; PEARSON, A.M.; GRAY, J.I.; KU, P.K. Lipid Oxidation in Charqui (Salted and Dried Beef).**Food Chemistry**, v. 32, p. 257 268, 1989.

VASCONCELOS, S.M.L.; VIEIRA, E.D.F.; CHAGAS, N.P.M.; SILVA, P.M.C.; SANTOS, T.M.P.dos. Consumo de charque e técnicas de dessalga adotadas por uma população de hipertensos da região nordeste do Brasil. **Revista de Nutrição**, v.23, n, 5, p. 823-830, 2010.

TRIBUZI, G.; SCHMIDT, F.C.; LAURINDO, J.B. Operational diagrams for salting-marination processes and quality of cooked mussels. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, p. 746-753, 2014.

VASCONCELOS, S. M. L.;VIEIRA, E. D. F.; CHAGAS, N. P. M.; SILVA, P. M. C.; SANTOS, T. M. P. Consumo de charque e técnicas de dessalga adotadas por uma população de hipertensos da região nordeste do Brasil. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 23, n. 5, p. 823-830, 2010.

VENTURA, R. Mudanças no perfil do consumo no Brasil: Principais tendências nos próximos 20 anos. Macroplan – Prospectiva, Estratégia e Gestão. Disponível em< www.macroplan.com.br >Acesso em 10 Fevereiro, 2013.

WANG, L.; SUN, D.W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. **Trends in Food Science & Technology**, v.12, p.174–184, 2001.

WANG, Y.; LI; Y.; WANG, S.; ZHANG, L.; GAO, M.; TANG, J. Review of dielectric drying of foods and agricultural products. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.4 (1), p.1-19, 2011.

ZHANG, Z.; DRUMMOND, L.; SUN, D.W. Vacuum cooling in bulk of beef pieces of different sizes and shape – Evaluation and comparison to conventional cooling methods. **Journal of Food Engineering**, v.116, p. 581–587, 2013.

ZOTARELLI, M.F.; PORCIUNCULA, B.D.A.; LAURINDO, J.B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v.108, p. 523–531, 2012.