



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Dissertação de Mestrado

CINÉTICA DE CONGELAMENTO E ANÁLISE  
DA TEXTURA DO LOMBO DA CARNE  
CAPRINA E OVINA

043.3)

2c

Biblioteca UFCEG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg. 10532/12

PEREIRA DE OLIVEIRA

Campina Grande  
Paraíba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



## DISSERTAÇÃO

### ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

CINÉTICA DE CONGELAMENTO E ANÁLISE DA TEXTURA DO LOMBO  
DA CARNE CAPRINA E OVINA

D:5  
631(043.3)  
Q482C  
ex. 01

JOSÉ DIVÂNIO PEREIRA DE OLIVEIRA

#### ORIENTADORES:

Prof. Dr. MÁRIO EDUARDO RANGEL MOREIRA CAVALCANTI MATA

Profa. Dra. MARIA ELITA MARTINS DUARTE

Campina Grande, Paraíba

SETEMBRO – 2011

**CINÉTICA DE CONGELAMENTO E TEXTURA DO LOMBO  
DA CARNE CAPRINA E OVINA**

**JOSÉ DIVÂNIO PEREIRA DE OLIVEIRA**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia Agrícola**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**

**PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**ORIENTADORES:**

**Prof. Dr. MÁRIO EDUARDO RANGEL MOREIRA CAVALCANTI MATA**

**Profa. Dra. MARIA ELITA MARTINS DUARTE**



**Campina Grande, Paraíba**

**SETEMBRO - 2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

O48c Oliveira, José Divânio Pereira de.  
Cinética de congelamento e textura do lombo da carne caprina e ovina /  
José Divânio Pereira de Oliveira. - Campina Grande, 2011.  
61f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal  
de Campina, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata,  
Profª. Drª. Maria Elita Martins Duarte.

Referências.

1. Produtos Agrícolas – Processamento e Armazenamento. 2. Físico-  
Química. 3. Temperatura Criogênica. 4. Difusividade Térmica Efetiva.

I. Título.

CDU 631.563(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**JOSÉ DIVÂNIO PEREIRA DE OLIVEIRA**

**CINÉTICA DE CONGELAMENTO E TEXTURA DO LOMBO DA CARNE CAPRINA E OVINA**

**BANCA EXAMINADORA**

**PARECER**

Mario Eduard  
Dr. Mario Eduardo R. Moreira Cavalcanti Mata – Orientador

APROVADO

Maria Elita  
Dra. Maria Elita Martins Duarte – Orientadora

APROVADO

Ana Paula Trindade Rocha  
Dra. Ana Paula Trindade Rocha – Examinadora

APROVADO

Renato F. A. S.  
Dr. Renato Fonseca Aragão – Examinador

APROVADO

SETEMBRO - 2011



UFCG - BIBLIOTECA

*A DEUS  
Meus pais, Antônio e  
Josefa  
Esposa e filhos  
Meus irmãos  
Toda a minha família*

*Dedico este trabalho*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por todos os benefícios recebidos.

A meus pais Antônio Ciríaco e Josefa Pereira (in memória), sem os quais não concluiria mais esta etapa da minha vida. Sinto Saudades.

Suely de Fátima (esposa), Eduardo Henrique, Sérgio Rodrigo e Simone de Fátima (filhos), Lenira (sogra) e Renato (genro) pelo apoio.

Aos meus orientadores, Prof<sup>o</sup> Dr. Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e Prof<sup>a</sup> Dr. Maria Elita Martins Duarte, pela eficiente orientação e incentivo nos trabalhos de pesquisa, dando-me força e coragem para que não fraquejasse nos primeiros obstáculos.

Aos Componentes da Banca Examinadora, Renato Aragão e Ana Paula Trindade Rocha, profissionais formidáveis.

Diva, Divard (in memória), Divarcy, Divani, Divaneide, Divanéa, Divanilda, Divanilze, Divaldo e Divanildo (irmãos) obrigado; sobrinhos e sobrinhas valeu a pena.

José Carlos Ferreira, pelo apoio profissional e por se ter mostrado um grande amigo – muito obrigado!!

Flávia Cristina e Severina de Sousa, no acompanhamento e apoio.

Geraldo Vieira – Diretor do Instituto Federal de Pernambuco – Campus Belo Jardim – minha gratidão.

Ao professor Francisco de Assis Cardoso pela contribuição acadêmica e profissional.

Roberto Aragão, lutamos juntos.

Companheiros do MINTER- valeu nossa luta.

Taciano Pessoa, Flávio Gurjão – pelo apoio e atenção.

Juliana Gomes, Edmilson Dantas e Rebeca - pela ajuda nas análises.

Paulo Almeida, Silas, Júlio, Dona Celina e família e Dona Salomé, pela amizade.

Verônica, Socorro e Luizão pelo – compartilhamento nas viagens e Apartamento.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indiretamente me ajudaram.



*“ Não importa se a estação do ano muda...  
se o século vira, se o milênio é outro.  
se a idade aumenta...  
conserve a vontade de viver,  
não se chega a parte alguma sem ela.”*

*Fernando Pessoa.*



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 - OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
1.1.1- Objetivo geral.....	3
1.1.2- Objetivo específicos.....	3
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
2.1 - Panorama da ovinocaprinocultura.....	4
2.2 - Distribuição Mundial.....	5
2.3 - Produção Nacional.....	6
2.4 - Consumo.....	8
2.5 - Refrigeração .....	10
2.6 - Congelamento.....	11
2.6.1 - Congelamento lento.....	13
2.6.2 - Congelamento rápido.....	13
2.6.3 - Congelamento ultra-rápido.....	13
2.7 - Métodos de Congelamento .....	14
2.7.1 - Congelamento com circulação de ar ou parado.....	14
2.7.2 - Congelamento em placas (Contact freezing).....	15
2.7.3 - Congelamento com circulação de ar forçada.....	15
2.7.4 - Imersão ou aspersão de líquido (Brine immersion freezing).....	15
2.7.5 - Congelamento criogênico.....	16
2.8 - Cinética de congelamento.....	16
2.9 - Difusividade Térmica.....	18
2.10- Características químicas da carne .....	20
2.10.1 - pH da carne.....	21

2.10.2. Proteína.....	22
2.10.3. Cinzas.....	22
2.10.4. Lipídios.....	23
2.10.5. Teor de água.....	23
2.10.6. Textura.....	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1- Matéria-prima .....	26
3.1.1-Processo de obtenção das amostras de carne caprina e ovina.....	26
3.2- Cinética de congelamento.....	27
3.2.1- Congelamento convencional em freezer doméstico( -22,5 e -45,0 °C) .	28
3.2.2- Congelamento no vapor de nitrogênio líquido até ( -170 °C).....	28
3.2.3- Congelamento por imersão em nitrogênio líquido (-196°C).....	28
3.3- Análises físico-químicas.....	29
3.3.1- Determinação do teor de água.....	29
3.3.2- Cinzas.....	29
3.3.3- Acidez titulável.....	29
3.3.4- Proteínas.....	29
3.3.5- Determinação do pH.....	30
3.4- Análise dos atributos de textura.....	30
3.5- Análise estatística.....	31
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
4.1- Cinéticas de congelamento .....	32
4.2- Difusividade térmica.....	38
4.3 - Caracterização físico-química do lombo da carne caprina e ovina.....	41
4.4 - Avaliação instrumental de atributos de textura.....	44
<b>5 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>6 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>51</b>
<b>7 - APÊNDICE .....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE FIGURAS

2.1 - Percentual das regiões brasileira no rebanho ovinos.....	6
2.2 - Percentual das regiões brasileira no rebanho caprinos.....	7
2.3 - Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultra-rápido (c).....	12
2.4 - Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares, (b) Dentritos (diedros) irregulares, (c) Unidades esféricas.....	14
2.5 - Curvas de congelamento da água pura.....	17
3.1- Fluxograma da obtenção e conservação das amostras de carne de carneiro.....	26
3.2- Amostra, cesta de arame, termopar e medidor de temperatura, para realização da cinética de congelamento.....	27
3.3- Probes utilizados nas análises de atributos de textura, 1: P/2; 2: P/32.....	30
4.1- Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino e ovino à temperatura de -22,5 °C, congelado no freezer comercial, com 10 mm de espessura.....	33
4.2- Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino e ovino à temperatura de -45 °C, congelado no freezer comercial, com 10 mm de espessura.....	34
4.3- Cinética de congelamento da carne de caprino e ovino à temperatura de -170 °C, no vapor do nitrogênio líquido, para as amostras com 10 mm.....	35
4.4- Cinética de congelamento da carne de caprino e ovino à temperatura de -196 °C, imerso no nitrogênio líquido, com 10 mm de espessura.....	36
4.5- Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino nas temperaturas de -22,5, 45, -170 e -196 °C.....	37
4.6- Cinética de congelamento do lombo da carne de ovino nas temperaturas de -22,5, 45, -170 e -196 °C.....	38
4.7- Parâmetro resistência ao corte do lombo da carne caprina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C.....	45
4.8- Parâmetro ruptura de fibras do lombo da carne caprina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C.....	46
Parâmetro resistência ao corte do lombo de carne ovina após congelamento	

<b>4.8-</b> nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C.....	47
<b>4.9</b> Parâmetro ruptura de fibras do lombo da carne ovina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C.....	48

## LISTA DE TABELAS

2.1 - Valor comercializado de produtos da ovinocaprinocultura – mundo (milhões US\$ CIF).....	5
2.2 - Consumo aparente – continente americano (mil toneladas) 2008.....	8
2.3 - Qualidade nutricional de cortes de carne caprina e ovina <sup>1</sup> .....	9
2.4 - Consumo per capita de carne de carneiro.....	9
2.5 - Armazenamento útil de tecidos animais a várias temperaturas.....	10
2.6 - Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria alimentícia.....	16
2.7 - Composição da carne de algumas espécies domésticas (conteúdo por 100g).....	21
4.1- Valores das espessuras (L); fator de atraso ( $a_1$ ); coeficiente de difusão ( $a_2$ ); difusividade efetiva ( $\alpha$ ); difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) e dos coeficientes de variação ( $R^2$ ) das amostras do lombo da carne caprina.....	39
4.2- Valores das espessuras (L); fator de atraso ( $a_1$ ); coeficiente de difusão ( $a_2$ ); difusividade efetiva ( $\alpha$ ); difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) e dos coeficientes de variação ( $R^2$ ) das amostras do lombo da carne ovina.....	40
4.3- Valores médios das análises físico-químicas de carne caprina congelada nas temperaturas de -22,5, -45, -90, 170 e -196°C.....	41
4.4- Valores médios das análises físico-químicas de carne de ovino congelada nas temperaturas de -22,5, -45, -90, 170 e -196°C.....	43



## RESUMO

O consumo de carne congelada é cada vez maior, sobretudo nas grandes cidades, tornando-se imprescindíveis estudos mais detalhados dos processos de congelamento e sua influência no produto destinado ao consumidor. O principal objetivo deste trabalho foi determinar a cinética de congelamento e avaliar as alterações físico-químicas do lombo da carne caprina e ovina, submetido a quatro temperaturas de congelamento: -22,5 e -45 °C (freezer comercial), -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) e -196 °C (imersão no nitrogênio líquido). Foram realizadas as análises físico-químicas de teor de água, pH, acidez, cinzas e proteínas, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz enquanto para os atributos textura, ruptura da fibra e resistência de corte, as amostras foram realizadas em texturômetro da marca TA.XT plus. O lombo da carne ovina a -22,5 e -45 °C congelou mais rapidamente que a do lombo da carne caprina, cujos tempos foram iguais a 10200 e 10800 segundos; 6240 e 6480 segundos, respectivamente; Já nas temperaturas de -170 e -196 o lombo da carne apresentou ligeira diferença no tempo de congelamento com a carne caprina congelando de maneira mais rápida em aproximadamente 1920 segundos com relação à carne ovina, que foi de 1940 segundos e 120 e 125 segundos, respectivamente. As difusividades efetivas médias ( $\alpha_m$ ) do lombo da carne caprina e ovina apresentaram tendência de aumento com a diminuição da temperatura de congelamento. Os maiores valores de teor de água, pH, acidez e proteínas do lombo da carne caprina foram iguais a 76,8447% (-45°C); 5,756 (-45 °C), 5,733 (-90 °C) e 5,770 (-196 °C); 0,052% (-90 °C); e 23,490% (-170 °C), respectivamente; por outro lado, teores de água, pH, acidez e proteínas, foram iguais a 71,6773% (-90 °C), 5,530 (-22,5 °C), 0,032% (-170 °C) e 18,390 (-196 °C), respectivamente. No lombo da carne caprina os maiores e menores valores para o teor de água foram iguais a 77,6433 (-22,5 °C) e 70, 5390 (-90 °C); pH iguais a 5,753 (-196 °C) e 5,610 (-22,5 °C); acidez iguais a 0,047, 0,045, 0,044 % (-22,5, -45 e -170°C) e 0,040 (-196 °C); proteínas iguais a 20,643 e 20,953 % (-45 e -90 °C) e 18,923 e 18,720 (-22,5 e -170 °C), mas as cinzas não apresentaram alterações significativas. A redução da temperatura de congelamento proporcionou tendência de diminuição da força de corte e ruptura das fibras do lombo da carne caprina e ovina.

**Palavras-chave:** Físico-química, temperatura criogênica, difusividade térmica efetiva

## ABSTRACT

Frozen meat consumption has increased especially in large cities, calling for more exhaustive research concerning the freezing process and its influence on consumer products. The main objective of present study is to determine the freezing kinetics and evaluate the physical and chemical changes that occur in the lamb loin and goat meat. Both the lamb loin and goat meat were exposed to four freezing temperatures, -22.5 and -45 °C (freezer trade), -170 °C (liquid nitrogen vapor) and -196 °C (immersion in liquid nitrogen). A physical-chemical water content analysis, including pH, acidity, ash and protein content was conducted in conformity with the Instituto Adolfo Lutz's, norms whereas for texture attributes of fiber rupture and resistance, samples cutting were done in brand texturometer TA . XT plus. The lamb loin -22.5 and -45 °C froze faster than the goat meat , whose times were equal to 10200 and 10800 / 2, 6240 and 6480 / 2, respectively. At temperatures of -170 and -196 °C, the loin meat exhibited a slight difference in freezing weather, with freezing goat meat quickly, in about 1920 / 2, in relation to lamb, which was 1940 / 2 and 120 125 seconds, respectively. The mean effective diffusivities ( $am$ ) of loin meat goats and sheep tended to increase with decreasing freezing temperature. The highest values of water content, pH, acidity and protein loin of goat meat were equal to 76.8447% (-45 °C) 5.756 (-45 °C), 5.733 (-90 °C) and 5.770 (-196 °C), 0.052% (-90 °C) and 23.490% (-170 °C), respectively. While the lower water content, pH, acidity and protein were equal to 71.6773% (-90 °C), 5.530 (-22.5 °C), 0.032% (-170 °C) and 18.390 (-196 degrees C), respectively. On the back of the goat meat, the highest and lowest values for water content were equal to 77.6433 (-22.5 °C) and 70, 5390 (-90 °C), pH equal to 5.753 (-196 °C) and 5.610 (-22.5 °); acidity equal to 0.047, 0.045, 0.044% (-22.5, -45 and -170 °C) and 0.040 (-196 °C), protein equal to 20.643 and 20.953% (-45 and -90 °C) and 18.923 and 18.720 (-22.5 and -170 °C), while the ash did not change significantly. The reduction of the freezing temperature gave a trend of cutting force and rupture of the fibers of the loin of lamb and goat meat.

**Keywords:** Physicochemical, cryogenic temperature, effective thermal diffusivity

## 1 – INTRODUÇÃO

Importantes mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores de carne vêm sendo observadas (HOFFMAN et al., 2003). A busca por alimentos mais saudáveis e a maior exigência em relação à qualidade dos produtos direcionaram parte do nicho de mercado. As carnes de melhor qualidade nutricional e sensorial passaram a ser preferência, mais saudáveis e, em alguns casos, com propriedades funcionais benéficas à saúde humana (COSTA et al., 2008).

As carnes caprina e ovina vêm-se sobressaindo ao longo das décadas como uma das grandes opções dentre as carnes vermelhas, por seu valor nutricional e qualidades organolépticas. Em termos nutricionais, as vantagens comparativas da carne de caprino relativamente às demais carnes consumidas no mercado, estão relacionadas aos baixos teores de gordura e colesterol, à alta digestibilidade e aos elevados níveis de proteína e ferro (MADRUGA et al., 2007).

A deposição e a distribuição de gordura corporal nos caprinos e ovinos influenciam a aceitabilidade das carnes. SAÑUDO et al. (2000) relataram que uma quantidade menor de gordura subcutânea, inter e intramuscular, reduz consideravelmente a aceitabilidade da carne de cordeiros. Segundo os autores, carnes provenientes de carcaças com 2.0mm ou menos de gordura subcutânea foram classificadas, em teste sensorial, como inferiores em sabor e satisfação. Por outro lado, o excesso de lipídios diminui a apreciação do produto (COSTA et al., 2008).

As carnes caprina e ovina são consumidas por milhares de pessoas ao redor do mundo, mesmo que em pequena escala, em todos os países, uma vez que não existem tabus religiosos ou culturais aplicados ao seu consumo, a exemplo da carne bovina (hindus) e da carne suína (mulçumanos). No entanto, alguns consumidores evitam consumir as carnes caprina e ovina em decorrência da repulsa pelo seu “cheiro” e/ou por seu sabor ou “flavour” característico, o qual é desenvolvido principalmente durante o processo de cozimento (MADRUGA et al. 2007).



No Brasil, o efetivo do rebanho de caprinos foi de 9,16 milhões de cabeças, queda de 2,04% comparada aos 9,35 milhões de cabeças de 2008 (FAO, 2009). Já o rebanho de ovinos foi em 2009, de 16,8 milhões de cabeças, crescimento de 1,1% frente aos 16,6 milhões de cabeças de 2008, distribuição esta praticamente restrita ao Nordeste e ao Sul, onde se encontram quase 90% dos animais do País (VIANA, 2008; IBGE, 2010).

Vários são os métodos que podem ser utilizados na conservação da carne, dentre os quais se citam: refrigeração, a salga, o congelamento, a defumação, a desidratação, entre outros. A refrigeração e o congelamento que, sem dúvida, são as formas mais comuns de conservação dos alimentos pelo frio. As baixas temperaturas também beneficiam a qualidade dos alimentos pois paralisam as reações químicas e biológicas levadas a efeito pelos micro-organismos e enzimas (MARSHALL, 2008).

MONTEIRO FILHO et al (2002) reportaram que congelamento é o método de preservação da carne fundamentada em baixas temperaturas que destroem alguns micro-organismos e impedem o crescimento de outros permitindo a obtenção de um produto de alta qualidade, mesmo após longo período de armazenamento, sobremaneira no que se refere ao sabor e às propriedades nutritivas, em que sempre os alimentos congelados são aceitos por uma parcela cada vez maior da população, sempre que toma conhecimento dos benefícios que o congelamento pode oferecer.

A carne destinada ao congelamento deve ser bem fresca e de excelente qualidade, removendo-se todo o excesso de gordura a qual apresenta características de congelamento totalmente diferentes da própria carne, podendo, assim comprometer todo o processo (MONTEIRO FILHO et al 2002). Outro fator significativo é o tempo de congelamento, considerado crítico se associado com a escolha de um sistema de congelamento para assegurar excelente qualidade do produto. Os requerimentos para o tempo de congelamento estabelecem a capacidade do sistema enquanto os mesmos parâmetros têm influência direta na qualidade do produto. Para garantir uma escolha eficiente nos sistemas de congelamentos, métodos para prever o tempo de congelamento são muito importantes (SING e HELDMAN, 1993).

Uma forma prática de conhecer a evolução de um processo de congelamento é através da variação de temperatura do alimento em função do tempo durante o processo, (KASAHARA et al., 1986). Segundo CAVALCANTI MATA (2008), o conhecimento da duração do congelamento tem importância prática pois permite determinar os tempos de congelamento de um produto.

Quando realizado corretamente o congelamento é considerado um dos métodos que apresentam bons resultados, mantendo as características organolépticas da carne permitindo, então, que esses cortes possam ser consumidos após longos períodos de armazenamento. O consumo de carne congelada é cada vez maior principalmente nas grandes cidades, sendo necessários estudos mais detalhados relativos aos processos de congelamento e sua influência no produto destinado ao consumidor.

## **OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo Geral**

Estudar a cinética de congelamento e avaliar as alterações físico-químicas e de textura do lombo da carne caprina e ovina congeladas em diferentes temperaturas.

#### **1.1.1. Objetivos específicos**

- Determinar a cinética de congelamento do lombo da carne caprina e ovina nas temperaturas de -22,5, -45,0, -170,0 e -196°C;
- Determinar as alterações físico-químicas (pH, acidez, proteínas e cinzas) do lombo da carne caprina e ovina congeladas nas temperaturas de -22,5°, -45,0, -90°, -170,0 e -196°C;
- Determinar as propriedades mecânicas (penetração e corte), relacionadas à textura do lombo da carne caprina e ovina congeladas nas temperaturas (-22,5, -45,0, -90,0 -170,0 e -196 °C).

## **2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Panorama da ovinocaprinocultura**

Os caprinos e ovinos foram as primeiras espécies de ruminantes a serem domesticadas e incluídas no hábito alimentar dos habitantes de épocas remotas, quando ovelhas foram domesticadas em torno de 10.000 a.C. e as cabras por volta de 7000 a.C., apresentando-se como fontes produtoras de carne, leite e pele. Essas espécies foram levadas pelo homem do seu habitat natural, a Ásia, para outras regiões, mantendo-se disseminadas, ainda hoje, em praticamente todos os países do mundo, constituindo-se em uma fonte de renda inestimável para as populações mais carentes dos países em desenvolvimento (MADRUGA, 2006).

O setor industrial e o de comercialização da carne no Brasil têm experimentado um crescimento contínuo nos últimos anos, sendo a salsicha, a mortadela, as linguiças e os patês de presunto e de frango, os derivados mais consumidos (VAZ et al., 2005).

A indústria de carne de caprinos e ovinos tem, como alvo, um mercado em plena expansão, que até pouco tempo se caracterizava como mercado de subsistência, no qual o produtor não conseguia ter excedentes para venda. Os clientes potenciais dessa indústria de carne são as grandes redes de supermercados, os restaurantes e hotéis; as casas de delicatessen e as lojas de conveniência (CARVALHO, 2001).

A criação de pequenos ruminantes, como caprinos e ovinos, tem desempenhado papel socioeconômico muito importante à população rural no desenvolvimento da pecuária. Na Região Nordeste, esta atividade se tem destacado principalmente como a opção viável para se produzir carne, leite e produtos derivados, a partir desses ruminantes (DUARTE, 2003).

No Brasil, as carnes de cordeiros e cabritos são as mais demandadas pelo mercado consumidor, devido às suas propriedades sensoriais e organolépticas, enquanto a carne de animais velhos ou de descarte é mais difícil de ser comercializada, atingindo baixos preços no momento da comercialização (MORENO & LEÃO, 2008).

Os produtos da ovinocaprinocultura movimentam cerca de US\$ 11 bilhões por ano, no comércio internacional. Pouco mais de 5% disto são provenientes de caprinos (carne, pele, leite e queijos) (RODRIGUES, 2009). A carne ovina, por sua vez, é responsável pelos valores mais significativos movimentados, como pode ser visto na Tabela 2.1

**Tabela 2.1** – Valor comercializado de produtos da ovinocaprinocultura no mundo (milhões US\$ CIF)

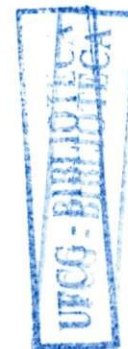
Produtos	2000		2008	
	milhões US\$	%	milhões US\$	%
Carne ovina	2.292,8	31,3	4.361,4	39,7
Lã	2.860,6	39,0	3.723,5	33,9
Ovinos vivos	737,3	10,1	1.053,7	9,6
Pele ovina	852,1	11,6	917,4	8,4
Leite e queijo-ovinos	161,9	2,2	228,8	2,1
Caprinos vivos	124,2	1,7	272,1	2,5
Carne caprina	64,5	0,9	141,2	1,3
Pelos finos caprinos	169,5	2,3	151,2	1,4
Visceras	30,4	0,4	80,4	0,7
Pele caprina	33,5	0,5	53,9	0,5
Leite e queijo caprinos	0,2	0,0	1,2	0,0
<b>Total</b>	<b>7.327,0</b>	<b>100</b>	<b>10.984,8</b>	<b>100</b>

Fonte: COMTRADE; FAOSTAT, 2009

## 2.2. Distribuição Mundial

Os ovinos estão entre as espécies de animais mais amplamente distribuídas por todo o mundo. A produção mundial de carne ovina é de aproximadamente 13,9 milhões de toneladas (FAO, 2007), sendo o mercado internacional abastecido sobretudo pelos países do Mercado Comum Europeu, Nova Zelândia e Austrália, nos quais existem sistemas de produção e comercialização especializados e de onde são enviadas, ao comércio exterior, carcaças de cordeiros, em sua grande maioria.

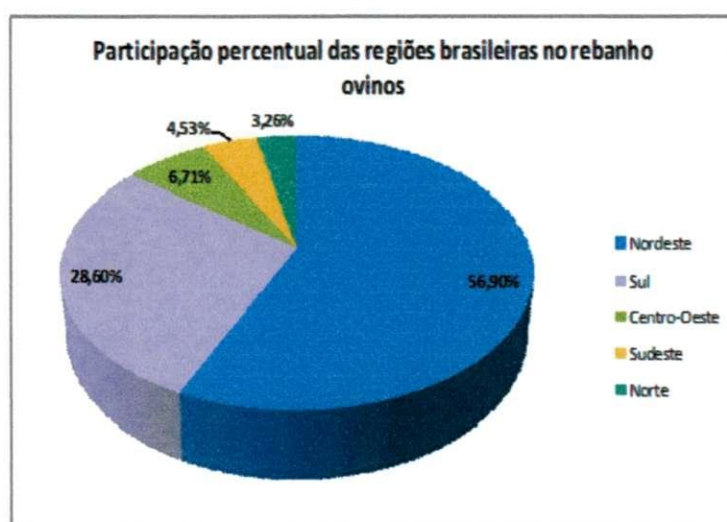
Já o efetivo mundial de caprinos é de 807,6 milhões de cabeças, com produção de carne estimada em 4,5 milhões de toneladas (FAO, 2006). O Brasil possui o 16º maior rebanho caprino do mundo, com cerca de 10 milhões de animais (FAO, 2005) em que 93% estão na região Nordeste (IBGE, 2006). O melhoramento do rebanho com seleção de raças e/ou tipos nativos para produção de leite e introdução de raças caprinas especializadas na produção de carne, fazem parte de uma história recente.



### 2.3. Produção Nacional

A produção brasileira de carne de carneiro é estimada em cerca de 57 mil toneladas por ano porém esta realidade tem tudo para mudar. Estima-se que num futuro próximo a carne de carneiro será uma opção efetiva de proteína animal na mesa do brasileiro. Com base nos investimentos que estão sendo feitos no Brasil podemos nos tornar um dos maiores produtores de carne de carneiro do mundo (NOGUEIRA FILHO, 2006)

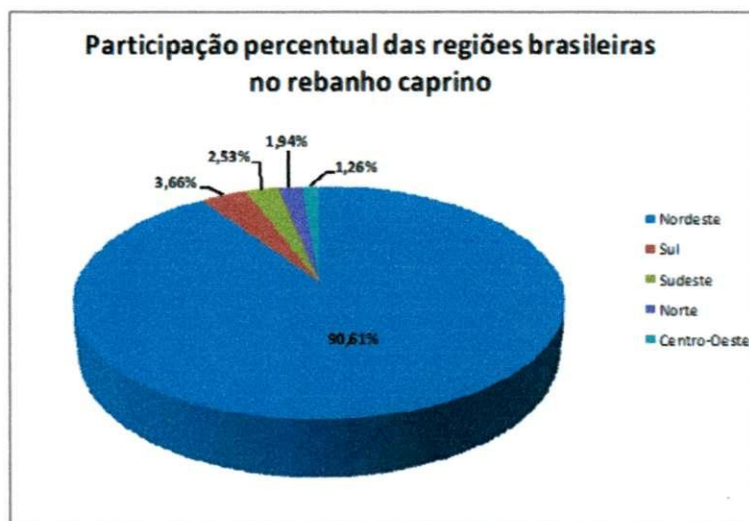
Em 2009 a região Nordeste deteve o maior número de cabeças ovinas totalizando 9,56 milhões de cabeças, crescimento de 2,08% frente a 2008. Verifica-se, na Figura 2.1, que a região Nordeste possui 56,9% do rebanho nacional seguida da região Sul (28,6%), Centro-Oeste (6,71%), Sudeste (4,53%) e região Norte (3,26%)(IBGE, 2009).



**Figura 2.1** Percentual das regiões brasileira no rebanho ovino  
**Fonte:** RODRIGUES (2009)

Segundo o MAPA (2005), a exploração caprina no Brasil tem, como objetivo fundamental, a produção de leite, cuja a maioria das raças é de aptidão mista e/ou leiteira, obtendo-se carne a partir de animais adultos de descarte ou de cabritos oriundos desses rebanhos. Há pouco tempo surgiram raças voltadas para a produção de carne, como a Boer, contribuindo para o aumento da produção e consumo do produto, principalmente no sentido social por ser fonte essencial de proteína para alguns povos, em que as condições de vida são difíceis.

Em 2009 a região Nordeste deteve o maior número de cabeças caprinas totalizando 8,3 milhões de cabeças, queda de 2,56% frente a 2008. Observa-se, na Figura 2.2, que a região Nordeste possui 90,61% do rebanho nacional seguida da região Sul (3,66%), região Sudeste (2,53%), região Norte (1,94%) e região Centro-Oeste (1,26%) (IBGE, 2009).



**Figura 2.2** Percentual das regiões brasileira no rebanho caprino  
**Fonte:** RODRIGUES (2009)

A produção de carne caprina tem grande potencial de crescimento, considerando-se os promissores mercados interno e externo, nos quais o incremento no consumo é uma realidade, decorrente da melhoria nas condições de abate e maior disponibilidade de categorias jovens para atender à demanda com quantidade e qualidade. Uma carne bem apresentada, comercializada em cortes adequados, com certificação da procedência e da forma de obtenção, embalados corretamente, seguidos de sugestões de receitas, favorecem positivamente o consumo mudando a concepção dos consumidores sobre tão nobre produto.

RODRIGUES (2009) reportou que a região Nordeste possui os maiores rebanhos ovino e caprino do Brasil. Verificou-se, de 2008 a 2009 um crescimento no efetivo de rebanho ovino, além de um decréscimo no efetivo de rebanho caprino na região. No entanto, o trabalho das associações e os diversos eventos realizados contribuíram com o crescimento da ovinocultura. Programas e ações do governo

também fomentaram a atividade no Nordeste.

A principal unidade de comercialização no abate de ovinos e caprinos no Brasil é a carcaça, desprezando os não-componentes da carcaça (esôfago, estômago, intestinos delgado e grosso, língua, pulmões + traquéia, coração, fígado, rins, sangue, cabeça e extremidades dos membros). O aproveitamento desses alimentos alternativos agrega valor ao produto e permitir a degustação de pratos exóticos, SILVA SOBRINHO (2007).

#### 2.4. Consumo

Neste item, mais de 60% do consumo aparente de carne ovina e caprina são concentrados nos EUA, Brasil e México, como se pode verificar na Tabela 2.2. O consumo total do continente alcançou 712 mil toneladas em 2008 contra uma produção de 604 mil toneladas. Isto demonstra presença da importação de outras regiões do mundo, de cerca de 108 mil toneladas de carne ovina, que abastecem principalmente os EUA e México, já que o Brasil importa carne ovina quase que exclusivamente do Uruguai (FAOSTAT, 2009).

**Tabela 2.2** – Consumo aparente – continente americano (mil toneladas)2008

Países	Carne	
	ovina	caprina
EUA	162,0	34,1
México	81,0	42,9
Brasil	85,9	34,5
Argentina	46,4	20,0
Uruguai	40,0	0,0
Demais países	116,5	48,7
<b>Total</b>	<b>531,8</b>	<b>169,5</b>

**Fonte:** COMTRADE; FAOSTAT, 2009

Segundo MADRUGA, et al. (2007) nos sistemas de produção de carne ovina e caprina as características quantitativas da carcaça são de fundamental importância. As vantagens comparativas em termos nutricionais da carne de caprino em relação às demais carnes consumidas no mercado, estão relacionadas aos baixos teores de gordura e colesterol, à alta digestibilidade e aos elevados níveis de proteína e ferro (Tabela 2.3).

**Tabela 2.3** - Qualidade nutricional de cortes de carne caprina e ovina<sup>1</sup>

Atributos químicos	Paleta	Perna	Lombo	Costela	Perna ovina
Umidade (g/100g)	73,32	75,48	71,79	71,25	71,43
Cinzas (g/100g)/	1,06	1,06	1,03	1,09	1,08
Gorduras (g/100g)	4,68	2,69	6,26	6,42	8,08
Proteína (g/100g)	20,29	21,47	20,04	19,57	19,59
Cálcio (g/100g)	8,47	6,89	6,34	7,45	5,55
Ferro (g/100g)	6,88	7,43	7,01	8,66	2,48
Fósforo (g/100g)	143,81	178,19	194,14	213,16	204,22
Colesterol (g/100g)	68,70	71,92	67,18	79,52	57,37

<sup>1</sup>Animais: caprinos mestiços de Boer e SPRD, Ovinos, Santa Inês, Rebanho da Emepa

**Fonte:** MADRUGA (2003)

Embora em ritmo crescente, o consumo per capita de carne de carneiro no Brasil ainda é pequeno, estimado em torno de 700g /habitante/ano, pouco representativo em relação ao consumo das carnes de outras espécies como bovina, frango e suína, calculado em 36,4 kg, 36,4 kg e 11,0 kg respectivamente (FAO, 2007). Comparando-o com outros países, o consumo nacional é muito baixo, Tabela 2.4.

**Tabela 2.4** - Consumo per capita de carne de carneiro.

PAISES	kg/hab./ano
Nova Zelândia	49,6
Austrália	18,4
Emirados Árabes	11,1
Espanha	5,6
França	4,2
Brasil	0,7

**Fonte:**FAO(2007)

A carne caprina é considerada de baixo teor de gordura e elevado índice de ácidos graxos insaturados. Pesquisas envolvendo a identificação do perfil de ácidos graxos da carne caprina do rebanho paraibano têm indicado a presença de 12 a 18 ácidos graxos; dentre os principais se tem: oléico, esteárico, palmítico, linoléico, palmitoléico e linolênico (MADRUGA, 2004).



Na região Nordeste alguns consumidores apresentam restrições à carne resfriada. É comum a carne ser comercializada fora dos balcões frigoríficos, em virtude desta restrição que ocorre provavelmente em função do receio de adquirir uma carne mal congelada e depois colocada à venda, como resfriada (SOBRAL et al, 2007).

## 2.5. Refrigeração

Um momento relevante do ponto de vista da conservação e da qualidade do produto, é o próprio processo de refrigeração que tem, como objetivo, a redução e manutenção da temperatura dos alimentos acima de seu ponto de congelamento, sendo mais usuais as temperaturas compreendidas entre -1 a 8°C, significando que a refrigeração implica apenas em mudanças no calor sensível do produto. Esta redução da temperatura retarda o crescimento dos micro-organismos, prolongando a vida de prateleira de alimentos frescos e processados (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

A atividade enzimática depende da temperatura de armazenamento que vai influenciar na redução do pH a partir da produção de ácido láctico e da velocidade de ocorrência do processo de *rigor mortis* (WARRISS, 2004). A refrigeração permite que ocorra o processo de maturação da carne pela hidrólise parcial das proteínas dos músculos, com conseqüente amaciamento. É importante destacar que para o máximo tempo de vida de prateleira os cortes cárneos devem ser armazenados em menor temperatura de refrigeração possível (JAKOBSEN & BERTELSEN, 2002; ORDÓÑEZ et al., 2005).

O abaixamento da temperatura da carne deve ocorrer imediatamente após o abate do animal, haja vista que algumas horas de atraso no abatedouro podem ocasionar perdas na conservação do produto. A Tabela 2.5 dá alguns exemplos de tempo de armazenamento de alguns produtos, em função da temperatura (GAVA et al., 2009).

**Tabela 2.5** - Armazenamento útil de tecidos animais a várias temperaturas

Alimento	Período de armazenamento em dias a		
	0°C	22°C	38°C
Carne	6-10	1	<1
Peixe	2-7	1	<1
Carne de galinha	5-18	1	<1

Fonte: Adaptado de (GAVA et al., 2009)

PARDIR et al., (2001) reportaram que, as carnes quando mantidas a temperaturas em torno de 0°C, ou mais ou menos 1°C, não alteram seu equilíbrio físico-químico nem a constituição da fibra muscular e sua textura, o que permite a reversibilidade de suas propriedades originais, mas elas sofrem apenas perda parcial das águas de revestimento e de interposição, mantendo a de composição ainda que nas superfícies possa haver cristalização parcial da água de composição.

A aplicação mais significativa da refrigeração nas características sensoriais de alimentos processados, é o endurecimento causado pela solidificação de óleos e gorduras. A perda da qualidade durante o armazenamento refrigerado produz modificações em função das mudanças químicas, bioquímicas e físicas, limitando a vida de prateleira. Essas mudanças incluem escurecimento enzimático, lipólise, deterioração de cor e aroma, em muitos produtos (FELLOWS, 2006).

## 2.6. Congelamento

O congelamento é um método de conservação de alimentos bastante utilizado já que é capaz de manter mais próximas todas as características originais dos produtos. É um processo que utiliza temperaturas mais baixas que a refrigeração, inibindo, portanto, o crescimento microbiano e retardando praticamente, todo o processo metabólico. Quanto menor a temperatura de armazenamento, mais lenta será a atividade enzimática, até determinado ponto, onde ocorre a paralização total (GAVA, et al., 2009).

De acordo com EVANGELISTA (2008), este método está condicionado principalmente ao teor aquoso do alimento e aos compostos neles dissolvidos, razão por que o tempo de congelamento de um líquido puro como água, não poderá ser o mesmo

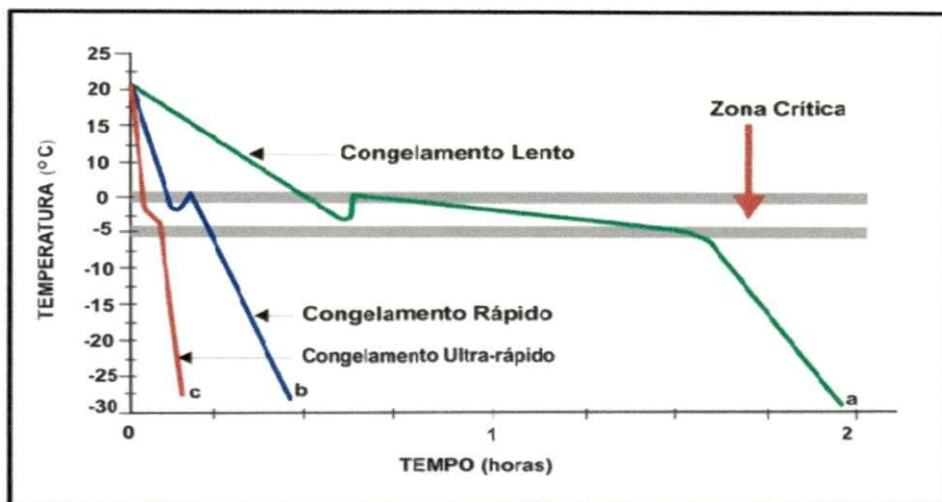


para aquele em que se acham dissolvidas substâncias orgânicas e inorgânicas, como ocorre em alimentos. De maneira geral, apresenta inúmeras vantagens sobre outros modos de conservação dos alimentos, dentre os quais são citadas: manutenção da cor, do sabor e das qualidades nutricionais, quando o congelamento é feito corretamente, tal como quando o processo de armazenagem segue todos os critérios necessários para que o produto mantenha sua qualidade (FONTES & LOPES, 1994).

Este processo deve ser feito a uma temperatura 10 a 12 °C abaixo da temperatura em que o alimento será armazenado. A temperatura recomendada para o armazenamento é -18°C. Temperaturas inferiores a este valor podem ser utilizadas porém elevam bastante o custo de manutenção do produto. As flutuações de temperatura devem ser evitadas uma vez que poderão provocar recristalizações com o aumento do tamanho dos cristais de gelo, o que é bastante prejudicial para a textura do produto (PARDIR et al., 2006).

Esta formação de cristais no interior das células é um dos grandes problemas do congelamento visto que provoca perda de qualidade na carne. MILLEER et al. (1982) estudaram a carne suína congelada convencionalmente e em nitrogênio líquido, armazenadas pelo tempo de 24 meses e verificaram que ao longo do armazenamento a qualidade da carne foi decrescendo; mesmo assim, concluíram que quando esta era congelada em nitrogênio líquido apresentava melhor aparência do que a carne suína congelada convencionalmente.

Segundo sua velocidade, o congelamento pode ser realizado de modo lento, rápido e ultrarrápido, como demonstra a Figura 2.3, o qual depende do quociente entre a temperatura do produto e do líquido refrigerante e fatores de resistência, tais como: velocidade do ar, embalagem, tamanho do produto, geometria do sistema e composição do produto (FENEMMA, 2010).



**Figura 2.3** – Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultrarrápido (c).

**Fonte:** FENEMMA (2010).

### 2.6.1 Congelamento lento

Neste processo, a temperatura do produto permanece próxima ao ponto de congelamento inicial, durante bastante tempo. A água extracelular se congela mais rapidamente que a intracelular porque tem a menor concentração de solutos. Durante o congelamento lento tem-se o maior período de cristalização (P.C.), ocorrendo numerosos cristais de gelo extracelular que se partem facilmente como “gotejamento”, durante o descongelamento. A velocidade está em torno de  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$  (ROÇA, 2011).

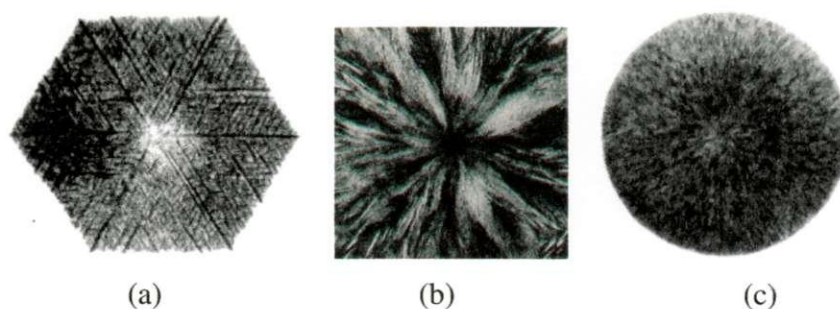
### 2.6.2 Congelamento rápido

Durante o congelamento rápido a temperatura do produto a ser congelado cai rapidamente abaixo do ponto de congelamento inicial, formando pequenas estruturas de gelo amorfo, principalmente no interior da célula, causando menos efeitos prejudiciais do que o congelamento lento. Desta forma e para se obter produtos de boa qualidade, a redução de sua temperatura deve ser rápida, o que pode ser viabilizado utilizando-se equipamentos com alta capacidade de refrigeração; sua velocidade de congelamento está em torno de  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$  (ASHRAE, 2002).

### 2.6.3 Congelamento ultrarrápido

Segundo OLIVEIRA et al. (2011) o congelamento ultrarrápido de produtos alimentícios é realizado em alguns minutos, em função da aplicação de gases criogênicos, como é o caso do nitrogênio líquido, com duração de 1 a 15 minutos, em função das temperaturas muito baixas.

Neste congelamento não é necessário diminuir a temperatura lentamente, pois a desidratação ocorre osmoticamente durante o tempo de equilíbrio, em virtude da maior concentração dos crioprotetores, que são responsáveis pela formação de pequenos cristais de gelo intracelular, observados na Figura 2.4. O congelamento se dá em temperaturas muito baixas utilizando-se, em geral, o nitrogênio líquido ou o vapor, diferenciando-se do tradicional, sobretudo pela sua velocidade e qualidade alcançadas (MONTEIRO FILHO, 2002; TAKEDA et al. 1984; RALL, 1992 ;RENARD et al., 1984).



**Figura 2.4** - Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares, (b) Dendritos (diedros) irregulares, (c) Unidades esféricas

**Fonte:** (COLLA & HERNÁNDEZ, 2003)

O congelamento rápido através da criogenia traz grandes benefícios ao produto congelado, prevenindo: o aparecimento de cristais de gelo, mantendo alta qualidade após o descongelamento; a oxidação lipídica, pois pode ser minimizada pela exclusão do oxigênio pelo congelamento; a perda de aroma e perda por desidratação (KOLBE, 2000; BEVILACQUA, et al., 2004).

## 2.7 Métodos de congelamento

Os produtos de carne podem ser congelados por diversos métodos:

- Ar móvel ou parado
- Congelamento em placas
- Congelamento com circulação forçada de ar
- Imersão ou aspersão de líquidos
- Congelamento criogênico

### 2.7.1. Congelamento com circulação de ar ou parado

O congelamento com circulação de ar é empregado em túneis providos de ventiladores responsáveis pela intensa corrente de ar, através de temperaturas que variam de -10 até -45°C, e a velocidade do ar, de 2 a 4 m/ de acordo com o tamanho das peças ou cortes de carne. É o método menos eficiente visto que o congelamento é lento em virtude das temperaturas dos congeladores e não é aconselhável congelar grandes quantidades de carne simultaneamente. Já o congelamento com ar parado depende da transmissão do calor por convecção, representado por um congelamento mais lento. Este processo é amplamente empregado nos congelamentos domésticos, variando a temperatura do ar entre -20 e -18°C (HEDRICK et al., 1989).

### 2.7.2. Congelamento em placas (*Contact freezing*)

No congelamento em placas ou por contato o meio através do qual o calor transferido é o metal. As bandejas que contêm os produtos cárneos são colocadas diretamente em contato com as placas em estantes do congelador. Quando se deseja acelerar o processo, deve-se adaptar uma circulação de ar frio. As placas são construídas em alumínio especial estruturado ou outro material de elevada condutibilidade térmica. O produto a ser congelado, em geral peças mais delgadas, deve ser colocado em envoltórios plásticos, bandejas ou caixas de cartolina ou papelão, depositadas entre duas placas. Nas temperaturas do congelador as placas variam entre -30°C e -45°C (PARDI et al., 2006).

### **2.7.3. Congelamento com circulação de ar forçada**

É o método mais empregado na indústria de carne; trata-se de túneis ou salas equipadas com ventiladores. O ar é o meio de transferência de calor, e é mais rápido que os congeladores de ar móvel. É conhecido como congelamento rápido, brusco, em túneis e em correntes. A velocidade do ar é de 5 ou 6 m/s; a temperatura varia entre -10 e 30 °C, é mais prática e econômica para a indústria (ROÇA, 2011).

### **2.7.4. Imersão ou aspersão de líquido (*Brine immersion freezing*)**

Neste processo soluções concentradas de NaCl, CaCl<sub>2</sub> ou propilenoglicol, são refrigeradas através de um sistema de compressão mecânica e os alimentos são imersos nessas soluções ou salmouras, para congelar (BEVILACQUA et al., 2004). Neste sistema de congelamento por imersão a salmoura é circulada a uma velocidade de 0,04 a 0,09 m/s. E quando se utiliza uma salmoura de NaCl a transmissão de calor é bem maior e rapidamente a superfície do alimento é congelada; já no caso de CaCl<sub>2</sub> congela-se o alimento embalado (OGAWA, 1999).

### **2.7.5. Congelamento criogênico**

O processo de congelamento criogênico é empregado por imersão direta, por aspersão ou através da circulação de elemento criogênico; é um processo de congelação rápida, de grande aceitação no mercado norte-americano, e que, no Brasil, tem uso circunscrito à conservação de sêmen e de sorvetes. Hoje é bastante expandido para o setor de carnes, sendo usual o congelamento criogênico do hambúrguer (PARDI et al., 2006). Esses compostos têm ponto de ebulição muito baixo e calor latente de vaporização bastante elevado. Os mais comuns são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), líquido ou sólido (neve carbônica) e o nitrogênio líquido (N<sub>2</sub>), cujas propriedades mais relevantes são indicadas na Tabela 2.6 (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005)

**Tabela 2.6** – Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria alimentícia

	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
Ponto de ebulição (°C) a 100 KPa	-195,8	-78,5 sublimação	
Calor latente (Kjkg <sup>-1</sup> )	Vaporização 199,57	Sublimação 572,43	Vaporização 347,97
Calor específico (Kjkg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ) do gás a 100 KPa	1,024 a 15,5°C	0,832 a 15,5°C	0,832 a 15,5°C
Capacidade refrigerante total (KjKg <sup>-1</sup> )	De -195,8°C a -18°C 81,64	De -78,5°C a -18°C 622,77	De -78,5°C a -18°C 398,31
Consumo (kg) por kg de produto congelado	1,3	1,2 a 3,75	

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA (2005)

## 2.8. Cinética de congelamento

Uma forma prática de se conhecer a evolução de um processo de congelamento é através da variação da temperatura do alimento, em função do tempo de duração do processo (CAVALCANTI MATA, 2008). O conhecimento da duração do congelamento tem importância prática, pois permite determinar os tempos de congelamento de um produto. No entanto, o dimensionamento dos congeladores necessita do conhecimento das velocidades de congelamento relativas ao produto tratado (MAFART, 1994).

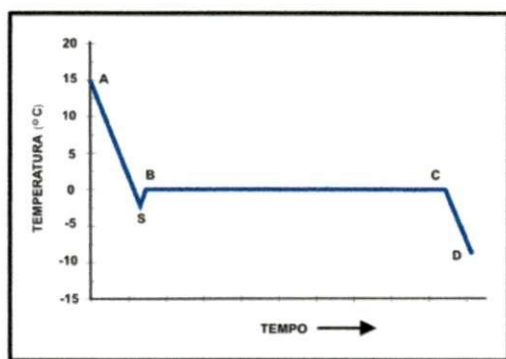
Segundo CAVALCANTI MATA (2008), a grande maioria dos alimentos possui formas características e componentes distintos, o que pode alterar as termopropriedades do produto. Soluções analíticas aproximadas são encontradas na literatura especializada, em forma de equações com parâmetros tabelados ou, então, na forma de gráficos (FIOREZE, 2004).

A utilização das propriedades termofísicas depende, em certo grau, da temperatura, tornando-se oportuno conhecer essas propriedades, para só então se estimar os fenômenos de altas e baixas temperaturas. As propriedades termofísicas necessárias de se conhecer, são: densidade, calor específico e difusividade térmica. Durante o congelamento essas propriedades passam por grande mudança, como



consequencia da diminuição da temperatura e da mudança de estado da água dentro do produto, sendo conveniente conhecê-las, por serem parâmetros que influem na velocidade e no tempo de congelamento SINGH & HELDMAN (1998).

De acordo com NEVES FILHO (1991), durante o processo de congelamento diferentes regiões do produto passarão por vários estágios em diferentes tempos. Graficamente, esses estágios estão representados na curva de congelamento da água pura, Figura 2.5.



**Figura 2.5** - Curvas de congelamento da água pura  
**Fonte:** NEVES FILHO (1991)

Durante o processo de congelamento o produto passará por vários estágios com diferentes períodos de tempo. Na Figura 2.6 observa-se que este processo tem início com a redução da temperatura durante o congelamento e o resfriamento de **A** a **B**, é o período decorrido entre o início do processo em que as moléculas de água tendem a se agregar diminuindo suas atividades, até formar os primeiros cristais de gelo no ponto **S**; este fenômeno é chamado de super-resfriamento e a água permanece líquida, abaixo de 0 °C e do ponto de congelamento. Com o início da cristalização ocorre liberação de calor, que aumenta a temperatura do ponto **S** ao ponto **B**; no período de **B** a **C** o gelo começa a se formar com a passagem de um arranjo aleatório na fase líquida para o ordenado na fase sólida, processo que consiste de uma nucleação e crescimento de cristais (cristalização), período no qual a temperatura sofre pequena variação e maior parte da água líquida se transforma em gelo; no período de **C** a **D** tem-se a redução da temperatura na qual a maior parte da água já se encontra na fase sólida até atingir a temperatura desejada (NEVES FILHO, 1991).

## 2.9 – Difusividade térmica

No período do congelamento a fração de água congelada muda continuamente com a temperatura, em função das propriedades térmicas, porém, quando um processo de transferência calórica toma lugar em uma condição transiente, a propriedade térmica que tem importância é a difusividade térmica  $\alpha$ , porquanto este parâmetro permite estabelecer a rapidez com que o calor se difunde no produto que se congela e conhecer o grau de dependência que existe para uma localização dada ao produto, entre a temperatura e o tempo (KASAHARA, 1986).

Segundo BROWMIK & HAVAKAWA (1979), a atividade térmica é necessária na determinação das curvas de temperatura de alimentos durante processos de transferência de calor para a delimitação dos próprios procedimentos usados nestas operações.

Experimentalmente, a difusividade térmica de um produto é obtida através de duas formas gerais (NEVES FILHO, 1991):

1. Calculando-se através da seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{K}{\rho.C_p} \quad (2.1)$$

em que:

$\alpha$  - difusividade térmica,  $m^2 s^{-1}$

K - condutividade térmica,  $m^2 s^{-1}$

P - densidade,  $kgm^{-3}$

$C_p$  - calor específico do produto  $KJkg^{-1}K^{-1}$

2. Medindo-se diretamente

LEWIS (1993) reporta que os materiais que têm difusividade térmica alta podem ser aquecidos ou resfriados rapidamente, porém as substâncias têm baixa difusividade térmica se aquecem ou resfriam lentamente. Por conseguinte, a



difusividade térmica é uma propriedade que requer especial importância quando se consideram situações de transferência de calor em estado não estacionário.

O modelo matemático utilizado para descrever o resfriamento cuja forma se assemelha a uma placa plana, é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.2)$$

Segundo CRANK (1975), a solução da equação (1) para calcular a transferência de calor em regime transiente da polpa, cuja forma se assemelha a uma placa plana de espessura  $2L$ , no instante  $F_0 = \alpha t/L^2$  (tempo adimensional denominado número de Fourier) é dada por:

$$RT = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\sigma_n^2 F_0) \quad (2.3)$$

donde:

Para  $n=1$

$$\begin{aligned} \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} &= RT \\ A_1 &= \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cos \sigma_1} \\ F_0 &= \left( \frac{\sigma_1^2}{L^2} \right) t \end{aligned} \quad (2.3a)$$

em que:

$RT$  - razão de temperatura, adimensional

$T$  - temperatura em cada momento, °C

$T_\infty$  - temperatura no meio do congelamento, °C

$T_0$  - temperatura inicial do ponto, °C

$F_0$  - número de Fourier, adimensional

$A_n$  - constante que depende do produto

$\sigma_n$  - raiz transcendental

$\alpha$  - difusividade térmica,  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

L - espessura da amostra/2

t - tempo, s

## 2.10 – Características químicas da carne

Processos de congelamento além de permitir a conservação da carne por meses, os mantêm as características químicas, sensoriais e nutritivas do produto, próximas das características iniciais (LAWRIE, 2005). No entanto, alterações como a desidratação, rancificação e perdas de suco, são efeitos negativos que podem ser observados (CAMPANONE et al., 2006). Além disso, a qualidade não é definida por apenas uma variável ou medida mas, sim, por um conjunto de variáveis que traduzem o estado no qual o produto se encontra.

Na Tabela 2.7 verifica-se a comparação da composição da carne caprina com a de outras espécies domésticas. Observa-se que é uma carne magra, com poucas gorduras subcutânea, intermuscular e intramuscular (SILVA SOBRINHO, 2007).

**Tabela 2.7** Composição da carne de algumas espécies domésticas (conteúdo por 100g)

Espécie	Caloria	Proteína	Gordura
Caprina	165	18,7	9,4
Ovina	253	18,2	19,4
Bovina	244	18,7	18,2
Suína	216	15,5	16,6
Aves	246	18,1	18,7

**Fonte:** Revista Brasileira de Agropecuária (1999)

### 2.10.1 - pH da carne

O pH da carne é o parâmetro de maior importância em relação à sua qualidade, já que pode influenciar a cor, a capacidade de retenção de água, a força de cisalhamento e a perda de peso por cocção, dentre outros fatores (BRESSAN et al., 2001).

Segundo OSÓRIO et al. (1998), alguns fatores podem influenciar o valor do pH da carne, tais como: tipo de fibra muscular (contração rápida ou lenta); sua concentração no músculo, influenciando a quantidade de glicogênio e o valor de pH final. Os músculos com maiores atividades físicas terão pH mais baixo quando comparados aos de menor.

Após o abate o glicogênio do músculo é transformado em ácido láctico sob ação de várias enzimas, levando à queda do pH. Este processo se chama glicogenólise (SOUZA, 2006). A velocidade de queda do pH e o pH final da carne após 24 horas, são muito variáveis. A queda do pH é mais rápida nos suínos, intermediária nos ovinos e mais lenta nos bovinos. O pH muscular está, logo após o abate, em torno de 7,0 e após 24 horas do abate (pH final), deve estar em torno de 5,80 a 5,50. MADRUGA et al. (2002) trabalharam com carne caprina de animais castrados e não-castrados e encontraram valores médios de pH de 6,33 e 6,17, respectivamente.

Um dos principais fatores relacionados à aceitação ou rejeição de carnes pelos consumidores é a cor da carne, que está intimamente relacionada ao pH final. Carnes com pH entre 5,8 e 6,0 tendem a apresentar melhor estabilidade da cor durante a preparação de cortes e bifes nos locais de venda do que carnes com pH fora dessa faixa (POWELL et al., 1996).

### **2.10.2. Proteína**

A carne se caracteriza pela natureza das proteínas que a compõem. Além dos aminoácidos essenciais ela contém água, gordura, vitaminas, glicídios e sais minerais como elementos nutritivos complementares. O músculo magro das diferentes espécies tem uma composição relativamente constante no que diz respeito à sua composição, em termos de proteína, gordura, sais minerais e conteúdo aquoso. Elas são essenciais para a formação de músculos, enzimas, células como anticorpos e leucócitos e hormônios, e ajudam no processo de cicatrização dos tecidos, estando envolvidas com todo o funcionamento do organismo (AZEVEDO, 2004).

Segundo BESERRA et al. (2001), o teor de proteína de carne caprina parece variar menos que a gordura, apresentando valores entre 15,29 a 23,98%, com influência marcante do aumento da idade e/ ou peso no aumento do teor de proteína.

### **2.10.3. Cinzas**

O conteúdo resíduo mineral fixo, obtido após incineração da carne a 500-600°C, está em torno de 0,8 a 1,8%. Entre as funções relevantes que exercem os íons orgânicos e inorgânicos se destacam: o cálcio e o magnésio, que desempenham papel importante na contração muscular; os compostos orgânicos do fósforo, com diversos ésteres do ácido fosfórico, que intervêm nas modificações *post-mortem*, no processo de maturação e hidratação da carne (ROÇA, 2006).

A carne possui quase todos os minerais de importância para a nutrição humana. Em termos quantitativos, o fósforo e o potássio são os mais significativos. A relação entre potássio e sódio é favorável na carne considerando-se que o sódio se encontra em quantidade escassa. Entretanto, os produtos cárneos processados são ricos em sódio devido à adição de sal refinado, na proporção de 2 a 3% durante a elaboração (PARDIR et al., 2006).

A carne também é uma boa fonte de oligoelementos, como zinco e ferro, a supremacia da carne como fonte de ferro não se baseia apenas no elevado teor mas também porque o ferro proveniente da carne possui melhor biodisponibilidade que os alimentos vegetais (ROÇA, 2006).

### **2.10.4. Lipídios**

Assim como as proteínas, os lipídios também são variáveis na composição da carne pois existe, nela, em percentuais bastante oscilantes. O teor de gordura pode variar de acordo com idade, com o sexo, com a raça, com a espécie e com alimentação do animal (PARDI et al., 2006).

Os lipídios exercem um papel determinante na aceitação da carne já que sua concentração e composição influenciam fortemente as propriedades organolépticas

(textura, sabor, aroma e cor). Os lipídios de depósito são fonte de energia celular. São constituídos por ésteres de glicerol com ácidos graxos, predominando os triglicerídeos podendo também conter pequenas quantidades de monoglicerídeos, diglicerídeos e ácidos graxos livres (GERMAN, 1990; PARDIR et al., 2006).

Segundo MADRUGA (2004), o teor de gordura da carne caprina parece ser o constituinte que apresenta a maior variação de 0,6 a 16,12%, sendo influenciado pelo aumento da idade e da massa muscular. A raça e/ ou grupo racial também influenciaram no teor de gordura da carne (BESERRA et al., 2001).

#### **2.10.5. Teor de água**

O teor de água é uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de alimentos. Com influência na qualidade da carne, afeta principalmente a suculência, maciez, cor e sabor. A água participa das reações biológicas, do transporte de substâncias, manutenção da temperatura corporal e da pressão osmótica e sua presença influi nas reações que ocorrem na carne durante a refrigeração, estocagem e processamento (GAVA, 2009; PARDI et al., 2006).

O teor de água corresponde à perda sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. A determinação da umidade em produtos cárneos se fundamenta na perda de umidade e substâncias voláteis a 105°C. Dependendo de tais condições, outras substâncias voláteis também podem ser removidas (BRASIL, 2005).

#### **2.10.6. Textura**

A carne caprina apresenta grande potencial mercadológico, pois o consumidor preocupado com os efeitos de saúde dos alimentos tende a valorizar seu baixo conteúdo de gordura em relação a outras carnes vermelhas. Porém, em relação aos parâmetros sensoriais o atributo mais relevante na satisfação geral do consumidor é a maciez, que pode ser definida como a facilidade de mastigar a carne com sensação de penetração, corte e resistência à ruptura (SILVA SOBRINHO et al., 2005; KANNAN et al., 2001).

A maciez da carne é, sem dúvida, a característica mais estudada quando a preocupação é o consumidor. E o segundo atributo de textura em importância parece ser a suculência (BEZERRA, et al. 2000). O consumidor utiliza os atributos de textura para estabelecer a qualidade e a aceitabilidade da carne. Contudo, a melhor qualidade é expressa em termos de maior maciez e maior suculência. Já a indústria da carne tem como prioridade, o desenvolvimento de métodos instrumentais para medir na carcaça parâmetros que possam predizer, com precisão, a maciez da carne cozida (WHEELER, et al. 2002).

A maciez ou textura de um músculo pode ser avaliada mediante um analisador conhecido como texturômetro. Este aparelho mede a força necessária para que uma lâmina rompa as fibras musculares de um fragmento tissular (força de cisalhamento - FC) e o resultado é expresso em quilograma-força (kgf) (SOUZA, 2008).

MAZINGER (2011), reportou que quando se atinge parte da aplicação da força até alcançar o ponto máximo (FC), pode-se produzir uma acomodação do material na força aplicada notando-se um salto na curva, o que se denomina “fraturabilidade”. Quando a força diminui produz-se uma área abaixo do traço do tempo e, ao fazer novamente o ciclo, se repetem as curvas já observadas. As curvas nesses ensaios saem arredondadas nos seus valores máximos em virtude das mudanças dos fatores ocorridos.

PINTO et al. (2010), reportam que o tamanho e o formato da amostra, a orientação das fibras musculares, as condições do tratamento térmico que precedem a análise e a temperatura das amostras no momento da análise são alguns dos parâmetros que devem ser padronizados visando maximizar a correlação da avaliação instrumental com a percepção sensorial da maciez.

O processo todo de amaciamento da carne que ocorre durante a estocagem refrigerada, ou maturação, consiste na proteólise dos componentes estruturais das miofibrilas. Tais enzimas proteolíticas atuam ocasionando algumas alterações no tecido muscular, como: (a) degradação e/ou enfraquecimento gradual da linha Z, que conduz à degradação das miofibrilas; (b) desaparecimento da troponina T; (c) degradação da desmina e nebulina e, provavelmente, da titina (proteínas estruturais do tecido



muscular). Essas alterações causam diminuição da rigidez e aumento gradativo da maciez da carne (KOOHMARIE, 1994).



### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB

#### 3.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada neste trabalho foram as carnes caprina e ovina, provenientes do mercado de carne da cidade de Belo Jardim, PE. Foram aproximadamente 3,0 kg de lombos da carne caprina e ovina. O processo de obtenção das amostras de lombo baseou-se na Figura 3.1.



**Figura 3.1** – Fluxograma da obtenção e conservação das amostras de carne de caprino e ovino

As amostras de carne retiradas da região lombar dos caprinos e ovinos foram desossadas e retirado todo o excesso de gordura; em seguida, a carne foi acondicionada em temperatura de 6 °C por 24 horas.

A carne foi recebida e acondicionada no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da UFCG, em Campina Grande, PB. As amostras foram submetidas às análises físico-químicas (teor de água, acidez, cinzas, proteínas e pH), cinética de congelamento em diferentes temperaturas (-22,5, -45, -170 e -196°C) e alterações mecânicas (resistência ao corte e ruptura de fibras).

### 3.2. Cinética de congelamento

Para obtenção das curvas de congelamento foi introduzido um termopar de 0,5 mm de diâmetro, no centro das amostras de lombo, de tamanho de 10,0 x 5,0 e espessura de 1,0 cm, as quais foram colocadas no equipamento destinado ao congelamento, sempre na posição vertical, adotando-se posição de placa plana, Figura 3.2 . A leitura das diferentes temperaturas de congelamento (-22,5, -45,0 -90,0, -170 e -196 °C) foi obtida através do termômetro digital da marca OAKTON.



**Figura 3.2** – Amostra, cesta de arame, termopar e medidor de temperatura, para realização da cinética de congelamento

### **3.2.1 – Congelamento convencional em freezer doméstico (-22,5 e -45,0 °C)**

As amostras de lombo foram congeladas a -22,5 e -45,0 °C em freezer doméstico horizontal da Marca FRICON – FHD 427 L e em freezer doméstico vertical da Marca Elegance Continental FC 23. A temperatura da carne foi monitorada por um termopar colocado no centro do lombo. As leituras foram realizadas a cada 5 minutos, até a estabilização da temperatura, para a qual foi utilizada 1 (uma) amostra com três repetições.

### **3.2.2 – Congelamento no vapor de nitrogênio líquido até (-170 °C)**

Esta operação foi realizada com a colocação de 100g do lombo em uma cesta de arame com dimensões: 12,5 cm de comprimento, 12,0 cm de largura e 1,5 cm de altura e, posteriormente, introduzida no interior de uma caixa metálica (Figura 3.3) de base cilíndrica de 26,0 cm de diâmetro e altura de 20,0 cm, revestida com poliestireno expandido de 4,0 cm de espessura e mais uma camada de chapa de alumínio de 3,0 mm de espessura, de forma que a amostra ficasse acima do nível do nitrogênio líquido, sendo criocongelada apenas com o vapor do mesmo a uma temperatura até -170 °C respectivamente, enquanto as leituras foram realizadas a cada 10 segundos; após o congelamento a cesta foi retirada do nitrogênio e levada imediatamente ao balcão criogênico, para evitar o descongelamento.

### **3.2.3 – Congelamento por imersão em nitrogênio líquido (-196°C)**

A amostra do lombo com 100g e dimensões de 10 x 5 x 1 cm foi submetida ao congelamento por imersão em nitrogênio líquido, até -196°C. Esta operação foi realizada colocando-se a amostra em uma cesta de arame com dimensões definidas (12,5 x 12,0 x 1,5 cm) e emergindo-a no nitrogênio líquido contido no interior de uma caixa metálica. A temperatura da carne foi monitorada por um termopar colocado no centro da amostra e as leituras realizadas a cada 5 segundos; em seguida ao congelamento, a cesta foi retirada do nitrogênio e levada, de imediato ao balcão criogênico, para evitar o descongelamento.

### **3.3. Análises físico-químicas do lombo caprino e ovino**

As amostras de lombo caprino e ovino foram avaliadas por meio do teor de: água, cinzas, acidez, proteínas e pH, determinados segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (Brasil, 2005).

#### **3.3.1. Determinação do teor de água**

A determinação do teor de água foi realizada pelo método gravimétrico determinando-se a perda de massa do material submetido a aquecimento em estufa com 105° C, até massa constante.

#### **3.3.2 – Cinzas**

Este método se fundamenta na perda de peso, que ocorre quando o material é incinerado a 550 °C, com perda da matéria orgânica, sem decomposição apreciável dos constituintes do resíduo mineral ou perda por volatilização.

#### **3.3.3 – Acidez titulável**

Consistiu na titulação de determinado volume da amostra por uma solução alcalina de concentração conhecida, utilizando-se como indicador a fenolftaleína.

#### **3.3.4 – Proteínas totais**

A determinação de protídeos totais foi realizada segundo o método de Kjeldahl, que se baseia na transformação do nitrogênio da amostra em sulfato de amônio, através da digestão com ácido sulfúrico p.a. e posterior destilação com liberação da amônia, que é fixada em solução ácida e titulada com ácido clorídrico padronizado.

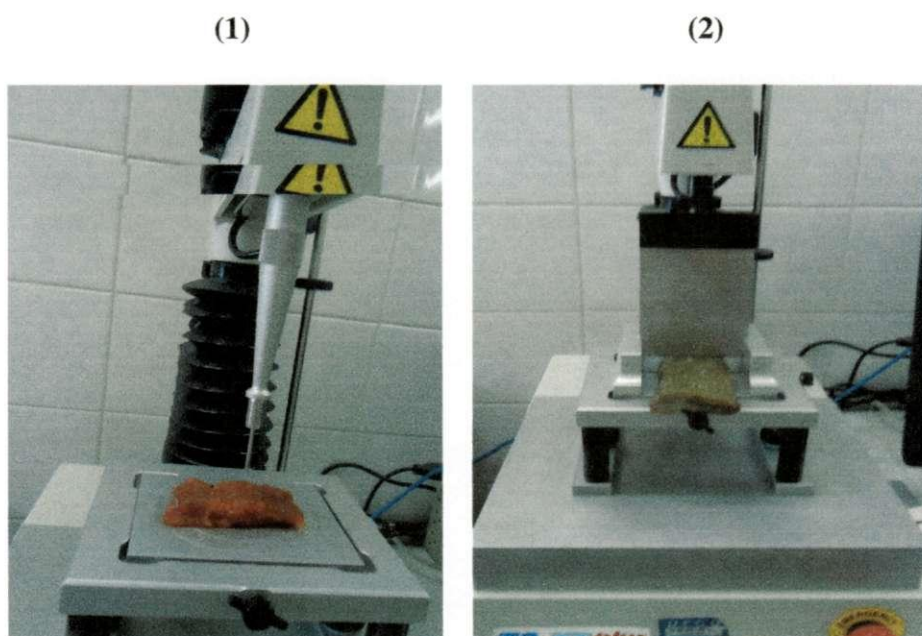
### 3.3.5. Determinação do pH

O pH foi determinado pelo método Potenciômetro, utilizando-se equipamento da marca TECNAL modelo PH METER, com calibração feita com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0).

### 3.4 – Análise dos atributos de textura

Para analisar os atributos de textura fez-se o descongelamento das amostras para os testes de ruptura da fibra e resistência do corte do lombo caprino e ovino.

Os testes foram realizados em texturômetro da marca TA.XT plus, com 10 repetições para cada atributo e tratamento utilizado; os resultados foram expressos em Newton.



**Figura 3.3.:** Probes utilizados nas análises de atributos de textura, 1: P/2; 2: P/32.

No probes P/2 foi utilizada, para o atributo de textura, ruptura de fibras para que se utilizou uma tensão de 80% da amostra com força de contato de 1N, uma distância de retorno de 10 mm e velocidade de retorno de 20 segundos.

No probe P/32 utilizado para o atributo de textura resistência de corte, usou-se uma tensão de 80% da amostra com força de contato de 1N, uma distância de retorno de 12 mm e velocidade de retorno de 20 segundos.

### **3.5. Análise estatística**

Os coeficientes das curvas de congelamento foram obtidos através da regressão não-linear e do programa computacional STATISTICA, versão 7.0; já os dados das análises físico-químicas foram tratados utilizando-se o programa ASSISTAT 7.6 beta.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Cinética de Congelamento

No apêndice se encontram os valores experimentais da Razão de Temperatura (RT) para os respectivos tempos de congelamento do lombo da carne caprina e ovina, nas temperaturas de -22,5 °C (Freezer convencional), -45 °C (Freezer convencional), -170 °C (vapor de nitrogênio) e -196 °C (imersão em nitrogênio).

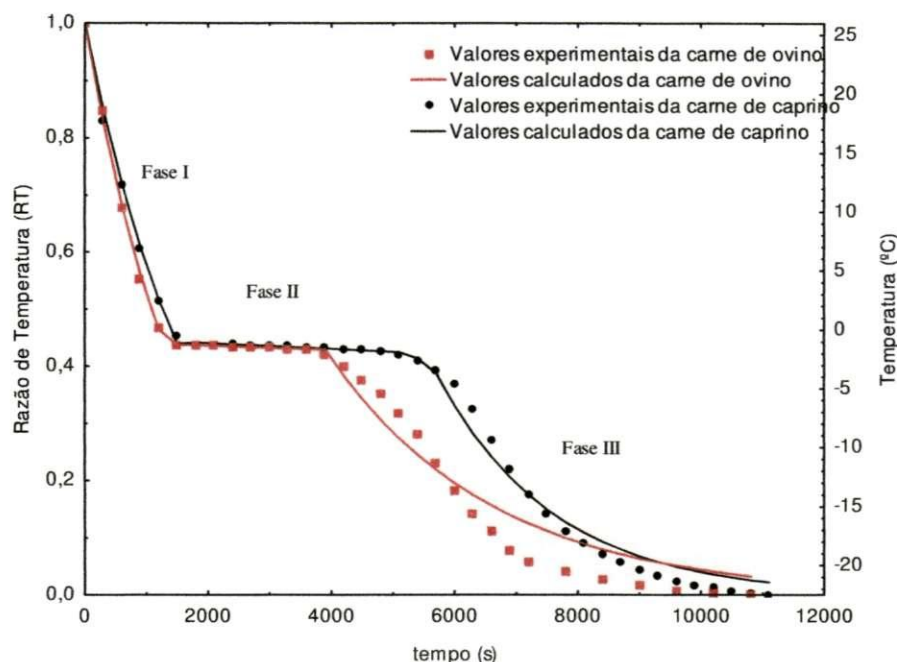
Nas Tabelas 4.1 a 4.4 se encontram as curvas cinéticas de congelamento do lombo da carne caprina e ovina.

Tem-se, na Figura 4.1, as curvas de congelamento do lombo da carne caprina e ovina na temperatura de -22,5 °C. Nota-se que as duas curvas das amostras submetidas ao congelamento a -22,5 °C se comportaram como curva característica do congelamento da água pura, com as três fases do congelamento bem definidas, ou seja, resfriamento (Fase I), congelamento ou cristalização (fase II) e pós-congelamento (Fase III). O mesmo comportamento foi relatado por MONTEIRO FILHO (2001) para a carne de suíno ao estudar o seu congelamento na temperatura de -30 °C, fato passível de explicação em virtude do lombo da carne ovina e caprina apresentar altos percentuais de água (73,2613 e 77,6433%), relatados por MADRUGA et al. (71,03%) e ALMEIDA et al. (2004), respectivamente.

Na fase de resfriamento (Fase I) do lombo da carne caprina, em que ocorre redução da temperatura do produto até o ponto de congelamento, a razão da temperatura decaiu de 1,0 (26,3 °C) para aproximadamente 0,45 (-0,4 °C) em 1500 segundos; já na fase de congelamento ou cristalização (Fase II), que corresponde à fase em que a temperatura sofre pequena variação visto que a maior parte da energia é utilizada a fim de que a água mude de fase, transformando-se em gelo, o valor da razão de temperatura vai de 0,45 °C até um valor aproximado de 0,42 (-1,20 °C a -2,00°C) atingindo o completo congelamento em 3600 segundos. Conforme FELLOWS (2006) o ponto de congelamento da carne se acha na faixa de -1,7 a -2,2 °C, pois a temperatura na qual surgem os primeiros cristais de gelo depende do tipo do alimento e da taxa na qual o calor é removido.



Na fase de pós-congelamento (Fase III), que corresponde à fase de diminuição da temperatura após o congelamento do produto, a razão de temperatura do lombo da carne de caprino decai de  $-22^{\circ}\text{C}$  até alcançar a temperatura de  $(-22,4^{\circ}\text{C})$  em aproximadamente 5700 segundos.



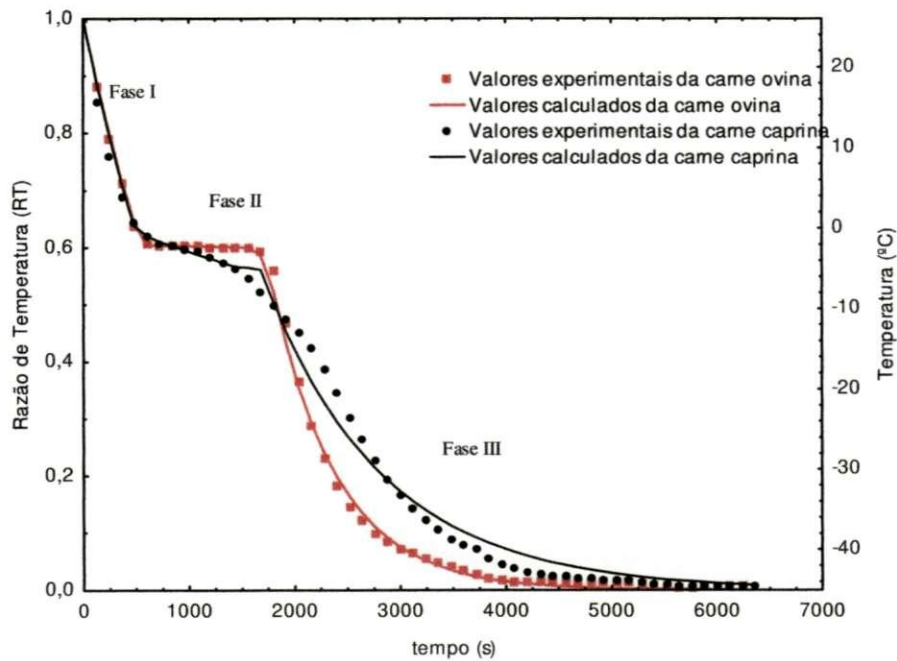
**Figura 4.1** - Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino e ovino na temperatura de  $-22,5^{\circ}\text{C}$ , congelado no freezer comercial, com 10 mm de espessura

Na Figura 4.1 nota-se ainda, que a razão de temperatura de resfriamento (fase I), do lombo da carne ovina, decai também de 1,0 ( $26,4^{\circ}\text{C}$ ) para aproximadamente 0,45 ( $-0,40^{\circ}\text{C}$ ) em 1500 segundos; no entanto, na fase II o período de tempo necessário para a amostra atingir o completo congelamento foi de aproximadamente 2400 segundos, com o valor da razão da temperatura se aproximando de 0,45 ( $-0,40^{\circ}\text{C}$ ) até 0,4 ( $-1,5^{\circ}\text{C}$ ); já na fase III, correspondente à fase de pós- congelamento, a temperatura adimensional decaiu de 0,4 a 0,002 ( $-22,4^{\circ}\text{C}$ ) em aproximadamente 6300 segundos.

Observa-se, nas curvas de congelamento, Figura 4.1, que o lombo da carne ovina congelou mais rapidamente que o lombo da carne caprina, cujos tempos a uma razão de temperatura de 0,05 foram iguais a 10200 e 10800 segundos, respectivamente.

Constata-se na Figura 4.2, que as curvas de congelamento do lombo da carne de caprino e ovino, submetidas ao congelamento a  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  se mostraram também similares à curva obtida para a água pura, permitindo distinguir-se claramente os três estágios típicos do congelamento.

Nota-se que na fase de resfriamento (Fase I), do lombo da carne caprina e ovina, a razão de temperaturas decaiu de 1 (26,4 e 27,0) para aproximadamente 0,61 ( $-0,7$  a  $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), respectivamente, em aproximadamente 600 segundos para cada amostra.



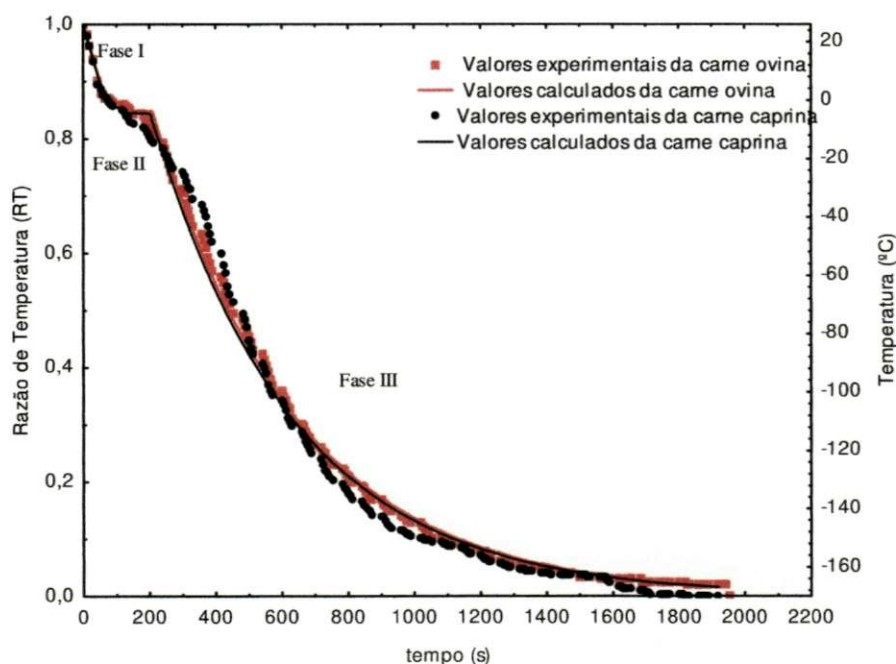
**Figura 4.2** - Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino e ovino na temperatura de  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , congelado no freezer comercial, com 10 mm de espessura

Na fase de congelamento ou cristalização (fase II), das amostras das carnes caprinas e ovinas, o completo congelamento ocorreu quando os valores da razão de temperaturas foram iguais a aproximadamente 0,62 ( $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e 0,61 ( $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), em 600 e 1080 segundos, respectivamente.

No final da fase III, que corresponde ao pós-congelamento, os valores da razão da temperatura do lombo da carne caprina e ovina atingiram 0,007 e 0,008 ( $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), em aproximadamente 5280 e 4560 segundos, respectivamente.

O lombo da carne ovina congelou mais rapidamente que o lombo da carne caprina, com os tempos aproximadamente iguais a 6240 e 6480 segundos, respectivamente.

Observam-se ainda na Figura 4.3, na curva de congelamento, as três fases do congelamento; no entanto, diferente das demais temperaturas de congelamento estudadas anteriormente, nas fases I e II, em que os períodos de congelamento foram muito curtos, comparando-os com a fase III do congelamento.

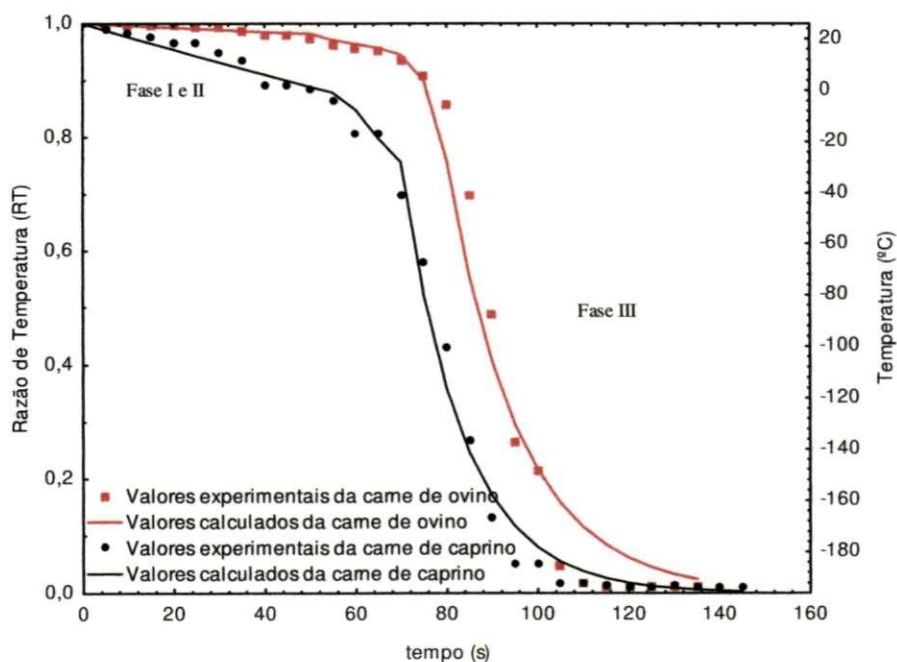


**Figura 4.3** - Cinética de congelamento da carne de caprino e ovino na temperatura de  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no vapor do nitrogênio líquido, para as amostras com 10 mm

Na fase de resfriamento (Fase I) do lombo da carne de caprino e ovino, as razões de temperatura decaíram de 1,0 ( $24,6$  e  $25,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para aproximadamente 0,87 ( $-0,40$  e  $-0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em 72 e 78 segundos, respectivamente; na fase de congelamento ou cristalização (Fase II), os valores das temperaturas adimensionais foram iguais a aproximadamente a 0,84 ( $-6,2$  e  $-6,1$ ) atingindo o congelamento em 60 e 92 segundos, respectivamente; já na fase de pós-congelamento (Fase III), as temperaturas adimensionais das amostras da carne de caprino e ovino diminuíram até alcançar 0,001 ( $-169,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e 0,002 ( $-169\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em aproximadamente 1788 e 1770 segundos, respectivamente.

Nota-se, nas curvas de congelamento do lombo da carne caprina e ovina, uma ligeira diferença no tempo de congelamento, com a carne caprina congelando mais rapidamente, em aproximadamente 1920 segundos, em relação à carne ovina, que foi de 1940 segundos. BOONSUMREJ et al. (2007) relataram que o congelamento em nitrogênio líquido de um lote de 20 camarões demorou aproximadamente 154 segundos. De acordo com ZHOU et al. (2010), o congelamento criogênicos oferece menor tempo de congelamento em relação ao congelamento convencional, devido à grande diferença de temperatura entre o fluido criogênico e a superfície do produto e a alta taxa de transferência de calor da superfície resultante da vaporização do fluido criogênico (ZHOU et al., 2010).

Verifica-se, que na Figura 4.4, que as amostras das carnes de caprino e ovino submetidas ao congelamento a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  não apresentaram as três fases do congelamento, o que era previsto, pois nesta temperatura de congelamento (temperaturas criogênicas) as fases I e II dificilmente se distinguem pois a velocidade de congelamento é muito rápida.



**Figura 4.4** - Cinética de congelamento da carne de caprino e ovino na temperatura de  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , imersa no nitrogênio líquido, com 10 mm de espessura.

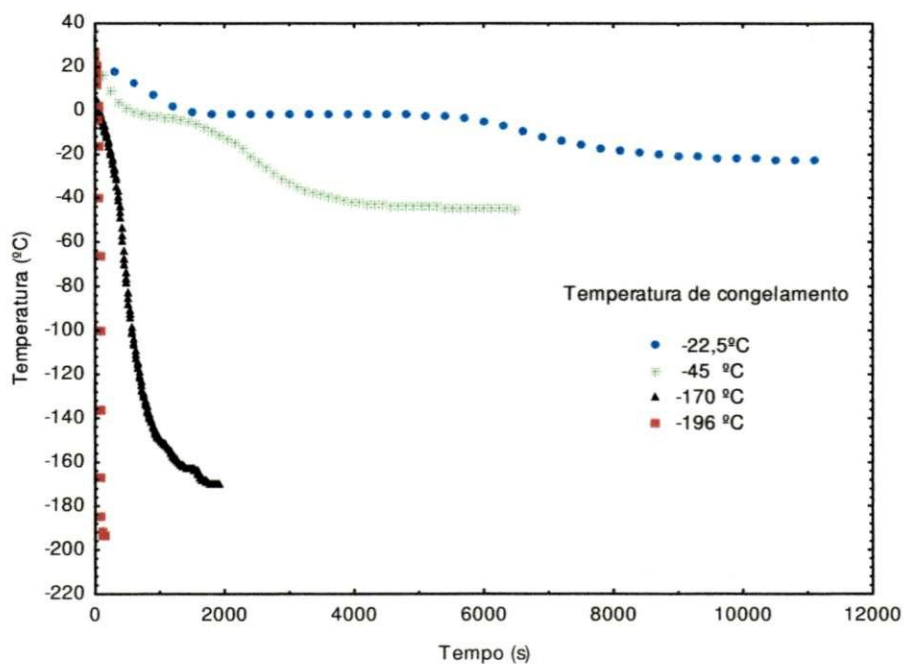
Nas Fases (I e II), na amostra de carne caprina o tempo de resfriamento foi de 55 segundos, com temperatura adimensional baixando de 1,0 ( $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a 0,86 ( $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),

enquanto na fase III o tempo de pós-congelamento foi de 65 segundos até a amostra alcançar a temperatura adimensional de 0,01 (-195,5°C).

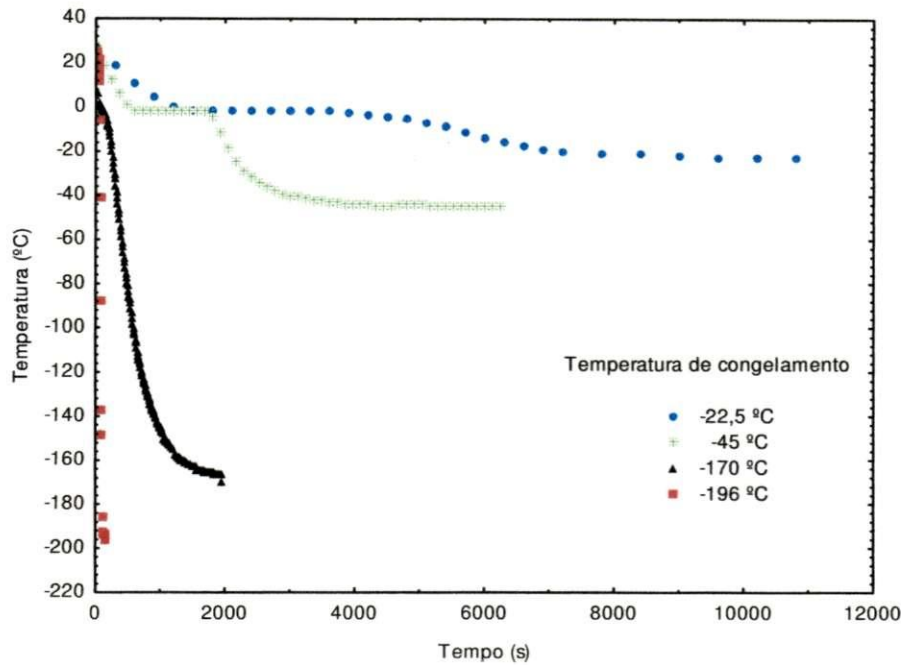
Por sua vez congelamento da amostra da carne ovina, na fase I (I e II), a temperatura adimensional decaiu de 1,0 (25,7 °C) para 0,91 (-5,7 °C), em aproximadamente 80 segundos enquanto na fase de pós-congelamento (III), a temperatura decai até alcançar a temperatura adimensional de 0,01 (-195,7 °C) em aproximadamente 45 segundos.

Nota-se que o congelamento do lombo da carne caprina ocorreu mais rapidamente que o da carne ovina, cujos tempos foram 120 e 125 segundos, respectivamente.

Nas Figuras 4.5 e 4.6 têm-se as cinéticas de congelamento do lombo da carne caprina e ovina nas temperaturas de -22,5, -45, -170 e -196 °C, observando-se que nas temperaturas de -170 e -196 °C, os lombos da carne caprina e ovina congelaram mais rapidamente em relação às temperaturas de -22,5 e -45 °C, comportamento este esperado haja vista que os congelamentos nas temperaturas criogênicas ocorrem muito rápidos em relação às temperaturas de congelamento lento.



**Figura 4.5** - Cinética de congelamento do lombo da carne de caprino nas temperaturas de -22,5, -45, -170 e -196 °C



**Figura 4.6** - Cinética de congelamento do lombo da carne de ovinos nas temperaturas de -22,5, 45, -170 e -196 °C

#### 4.2 – Difusividade térmica

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 se encontram os valores das espessuras ( $L$ ); dos fatores de atraso ( $a_1$ ); dos coeficientes de difusão ( $a_2$ ); das difusividades efetivas ( $\alpha$ ); das difusividades efetivas médias ( $\alpha_m$ ) e dos coeficientes de variação ( $R^2$ ), do lombo da carne caprina e ovina congeladas nas temperaturas de -22,5, -45, -170 e -196 °C.

As difusividades efetivas médias do lombo da carne caprina submetida ao congelamento a -22,5, -45, -170 e -196 °C foram iguais a 0,193, 0,228, 0,537 e 2,41 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente, constatando-se tendência de aumento da difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) com diminuição da temperatura de congelamento da carne caprina. O fato do aumento da difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) com a diminuição da temperatura de congelamento da carne caprina pode ser justificado em razão do aumento do gradiente térmico pois quanto maior o gradiente térmico a que o produto está exposto maior também a velocidade de congelamento.

**Tabela 4.1** - Valores das espessuras (L);fator de atraso ( $a_1$ );coeficiente de difusão ( $a_2$ ); difusividade efetiva ( $\alpha$ );difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) e doscoeficientes de variação ( $R^2$ ) das amostras do lombo da carne caprina

Temperatura (°C)	Fases	L/2 (mm)	$a_1$	$a_2$	$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)	$\alpha_m$ (mm <sup>2</sup> /s)	$R^2$ (%)
-22,5	I	5,00	1,00	$5,47 \times 10^{-4}$	1,37	0,193	99,78
	II		0,45	$1,18 \times 10^{-4}$	$4,29 \times 10^{-5}$		81,87
	III		1,27	$5,60 \times 10^{-4}$	$5,56 \times 10^{-3}$		96,70
-45	I	5,00	1,00	$9,33 \times 10^{-4}$	2,33	0,228	93,97
	II		0,66	$1,05 \times 10^{-4}$	$4,41 \times 10^{-4}$		95,88
	III		1,20	$7,94 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-2}$		96,38
-170	I	5,00	1,00	$5,15 \times 10^{-3}$	12,88	0,537	95,64
	II		0,89	$4,30 \times 10^{-4}$	$2,14 \times 10^{-3}$		93,78
	III		1,18	$2,33 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-2}$		98,05
-196	I	5,00	1,00	$2,34 \times 10^{-3}$	5,85	2,412	91,79
	II		-	-	-		-
	III		0,89	$6,24 \times 10^{-2}$	$3,11 \times 10^{-1}$		96,32

I – resfriamento, II- congelamento, III- pós-congelamento; L - espessura;  $a_1$  – fator de atraso;  $a_2$ - Coeficiente de difusão;  $\alpha$  - Difusividade efetiva;  $\alpha_m$  - Difusividade efetiva média;  $R^2$  – coeficiente de variação

Verifica-se, na Tabela 4.2, que os valores de difusividade efetiva média para o congelamento do lombo da carne ovina foram iguais a 0,243 (-22,5°C), 0,246 (-45 °C), 0,634 (-170 °C) e 2,44 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> (-196 °C); notou-se, também aumento da difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) com a diminuição da temperatura de congelamento da carne ovino, tal como ocorreu na carne caprina.

**Tabela 4.2** - Valores das espessuras (L);fator de atraso ( $a_1$ );coeficiente de difusão ( $a_2$ ); difusividade efetiva ( $\alpha$ );difusividade efetiva média ( $\alpha_m$ ) e doscoeficientes de variação ( $R^2$ ) das amostras do lombo da carne ovina

Temperatura (°C)	Fases	L/2 (mm)	$a_1$	$a_2$	$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)	$\alpha_m$ (mm <sup>2</sup> /s)	$R^2$
-22,5	I		1,00	$6,39 \times 10^{-4}$	1,60		99,68
	II	5,00	0,44	$9,00 \times 10^{-6}$	$3,25 \times 10^{-5}$	0,243	89,87
	III		1,04	$5,09 \times 10^{-4}$	$5,68 \times 10^{-3}$		93,38
-45	I		1,00	$9,33 \times 10^{-4}$	2,33		98,87
	II	5,00	0,61	$7,91 \times 10^{-6}$	$3,19 \times 10^{-5}$	0,255	90,17
	III		1,27	$1,76 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-3}$		99,62
-170	I		1,00	$5,06 \times 10^{-3}$	12,64		94,92
	II	5,00	0,89	$3,51 \times 10^{-3}$	$1,75 \times 10^{-3}$	0,641	86,44
	III		1,12	$2,31 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-3}$		99,59
-196	I		1,00	$3,69 \times 10^{-4}$	4,22		87,76
	II	5,00	-	-	-	2,513	-
	III		1,01	$6,13 \times 10^{-2}$	$3,35 \times 10^{-1}$		93,89

I – resfriamento, II- congelamento, III- pós-congelamento; L - espessura;  $a_1$  – fator de atraso;  $a_2$ - Coeficiente de difusão;  $\alpha$  - Difusividade efetiva;  $\alpha_m$  - Difusividade efetiva média

Comparando os valores da difusividade efetiva média do congelamento da carne caprina com o congelamento da carne ovina, observa-se que em todas as temperaturas de congelamento a difusividade efetiva média da carne ovina é maior que da carne caprina.



### 4.3 – Caracterização físico-química do lombo da carne caprina e ovina

Tem-se, nas Tabela 4.3 e 4.4, os valores médios das análises físico-químicas (Teor de água, acidez, pH, cinzas e proteínas) do lombo da carne caprina e ovina, respectivamente, congelada em diferentes temperaturas (-22,5, -45, -90, 170 e -196°C).

Na Tabela 4.3 os valores do teor de água do lombo da carne caprina congelada a -22,5 °C, não apresentaram alteração quanto ao teor de água da carne caprina congelada a -170 e -196 °C enquanto o maior e o menor valores do teor de água do lombo da carne caprina foram observados para a temperatura de -45 °C (76,8%) e -90 °C (71,6 %) respectivamente. Comparando-se os valores de teor de água aqui deste trabalho com a literatura, verifica-se que os teores de água da carne caprina estão entre os valores encontrados por MADRUGA et al. (2002) e MADRUGA et al. (2005), para a carne caprina.

**Tabela 4.3** – Valores médios das análises físico-químicas de carne caprina congelada nas temperaturas de -22,5, -45, -90, 170 e -196°C

Carne Caprina					
Temperaturas de congelamento	Médias				
(°C)	Teor de água (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Acidez (%)	pH
-22,5	73,26 b	1,013 a	21,13 b	0,049 ab	5,53 c
-45	76,87 a	1,068 a	19,42 c	0,045 b	5,75 a
-90	71,67 c	0,875 a	21,21 b	0,052 a	5,73 a
-170	73,52 b	1,041 a	23,49 a	0,032 c	5,65 b
-196	74,52 b	0,731 a	18,39 d	0,047 b	5,77 a
<b>DMS</b>	1,412	0,370	0,903	0,004	0,048
<b>C.V.%</b>	0,709	14,543	1,619	3,669	0,314

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

Os valores de cinza do lombo da carne de caprino não apresentaram alterações significativas quanto às temperaturas de congelamento, demonstrando que minerais do lombo da carne caprina se conservam, independente da temperatura de congelamento utilizada neste trabalho. O valor médio das cinzas foi igual a 2,673 (-22,5°C), 2,738 (-45 °C), 2,894 (-90 °C), 2,929 (-170 °C) e (-196 °C).

Observa-se também que o maior valor de proteínas foi obtido para a amostra de carne caprina congelada a -170 °C, cujo valor foi igual a 23,49 %, enquanto o menor valor foi determinado para a temperatura de -196 °C (18,39%), ao contrario do que observaram PINTO et al. (2010) ao estudar as amostras da carne bovina submetidas ao resfriamento lento (5 °C) e rápido (-25 °C), e transferidas para câmara de refrigeração a 0°C ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) em que o valor de proteínas não apresentou diferenças significativas entre as amostras.

Os valores de acidez do lombo da carne caprina congelada a -22,5 °C não apresentaram alterações em relação à acidez a -45, -90 e -196 °C mas o valor da acidez do lombo da carne caprina congelada a -170 °C foi inferior ao das demais temperaturas de congelamento.

Com referência ao pH do lombo da carne caprina, o congelamento a -22,5 °C foi o que apresentou o menor valor de pH (5,530) em relação às demais temperaturas de congelamento sendo que a -45 (5,756), - 90 (5,733) e -196 °C (5,770), os valores de pH da carne caprina não apresentaram alterações significativas. MADRUGA et al. (2005) determinaram, para o lombo da carne de carneiro, valor igual a 6,03.

Verifica-se, na Tabela 4.4, que o maior valor de teor de água do lombo de carne de ovino foi obtido da amostra congelada a -22,5 °C com 77,6433% enquanto o menor valor foi observado para o lombo congelado a -90 C (70,5390%).

**Tabela 4.4** – Valores médios das análises físico-químicas de carne de ovino congelada nas temperaturas de -22,5, -45, -90, 170 e -196°C

<b>Carne Ovina</b>					
<b>Temperaturas de congelamento (°C)</b>	<b>Médias</b>				
	<b>Teor de água (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>pH</b>
<b>-22,5</b>	77,64 a	2,673 a	18,923 bc	0,047 a	5,610 d
<b>-45</b>	75,39 b	2,738 a	20,643 a	0,045 a	5,743 ab
<b>-90</b>	70,59 d	2,894 a	19,620b	0,042 bc	5,726 b
<b>-170</b>	74,70 b	2,929 a	18,720 c	0,044 ab	5,660 c
<b>-196</b>	73,24 c	2,850 a	20,953 a	0,040 c	5,753 a
<b>DMS</b>	1,463	1,826	0,836	0,003	0,024
<b>C.V.%</b>	0,732	24,099	1,571	2,424	0,157

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

As cinzas do lombo da carne ovina, da mesma forma que na carne caprina, não apresentaram diferenças significativas em relação à temperatura de congelamento, cujos valores foram iguais a 2,673% (-22,5 °C), 2,738% (-45 °C), 2,894% (-90 °C), 2,929% (-170 °C) e 2,850% (-196 °C).

Ao contrário do que ocorreu no lombo da carne caprina, os maiores valores de proteínas foram verificados no lombo de carne ovina congelada a -45 °C e -196 °C, os quais foram 20,643 e 20,953%, respectivamente. Já os menores valores foram encontrados para o congelamento a -170 (18,923%) e -22,5 °C ( 18,923%), enquanto ALMEIDA JUNIOR et al. (2004) obtiveram valor de 21,77% de proteína para o lombo da carne de carneiro

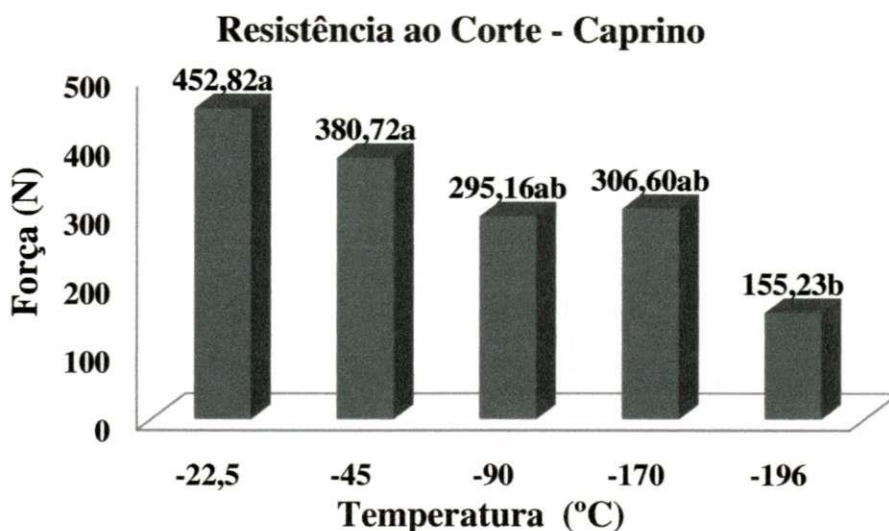
Os valores de acidez do lombo da carne ovina não apresentaram alterações significativas nas temperaturas de congelamento de -22,5 (0,047%), -45 (0,045%) e -170 (0,044%) °C, enquanto nas temperaturas de -90 e -196 °C se observam alterações significativas em relação às demais.

Assim como ocorreu no congelamento do lombo da carne caprina, o pH do lombo da carne ovina congelada a  $-22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  foi a amostra que apresentou o menor valor de pH, ou seja de 5,610, enquanto os maiores valores de pH do lombo da carne ovina foram observados para as amostras congeladas a  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (5,743) e  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  (5,753). PINHEIRO et al. (2009) encontraram, para o lombo da carne de ovino valor igual a 6,47, superior ao valor de pH obtido neste trabalho para todas as temperaturas de congelamento estudadas.

#### **4.4 - Avaliação instrumental de atributos de textura**

Nas Figuras de 4.7 a 4.10, tem-se a avaliação instrumental de resistência ao corte e ruptura de fibras dos lombos das carnes caprinas e ovinas, sendo que o eixo Y representa a força em Newton (N) e o eixo X representa as temperaturas de congelamento ( $-22,5$ ,  $-45$ ,  $-90$ ,  $-170$  e  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Nota-se, na Figura 4.7, diminuindo a temperatura de congelamento tendência de diminuição da força necessária para que haja o corte do lombo da carne caprina, tornando a carne mais macia. De acordo com LAWRIE (2005), o aumento na maciez observado na carne no congelamento rápido, poderia significar que a musculatura da superfície ficasse imobilizada pelo congelamento antes que o encurtamento pelo frio ocorresse. BOONSUMREJ et al. (2007) observaram, ao estudar o efeito do congelamento sobre as mudanças de qualidade do camarão congelado a  $-70$  e  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que a força de corte do camarão congelado a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  foi semelhante à das amostras frescas enquanto as amostras de camarão congeladas a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  tiveram a menor força de corte. Os autores justificaram tal fato como sendo um provável fenômeno que causa rachadura a baixa temperatura de congelamento.

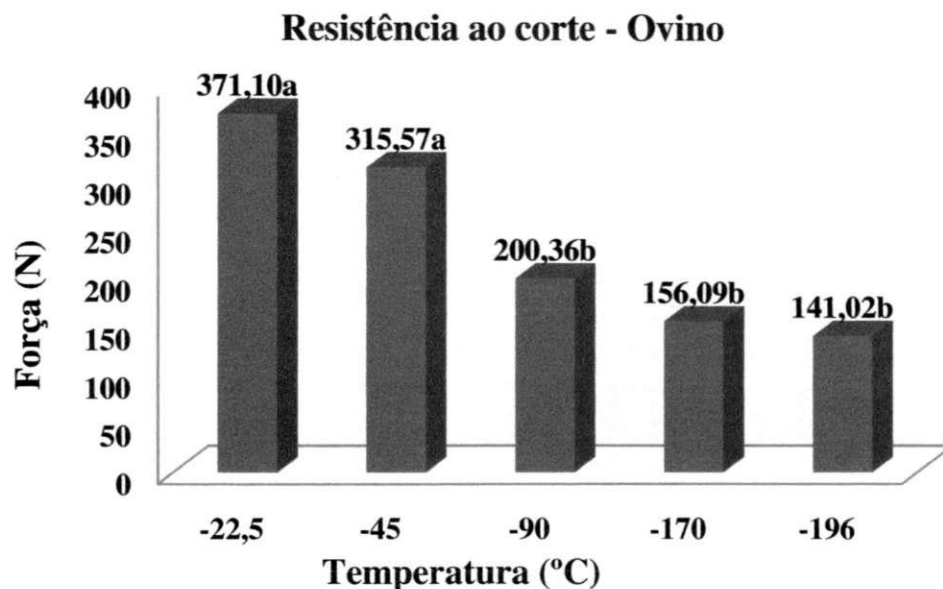


**Figura 4.7** - Parâmetro resistência ao cortado lomboda carne caprina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C

A maior força necessária para cortar o lombo da carne caprina foi de 452,82 N para o lombo congelado a -22,5 °C. De acordo com ALVES et al. (2005) quanto maior é a força requerida menor é a maciez apresentada pelo corte da carne.

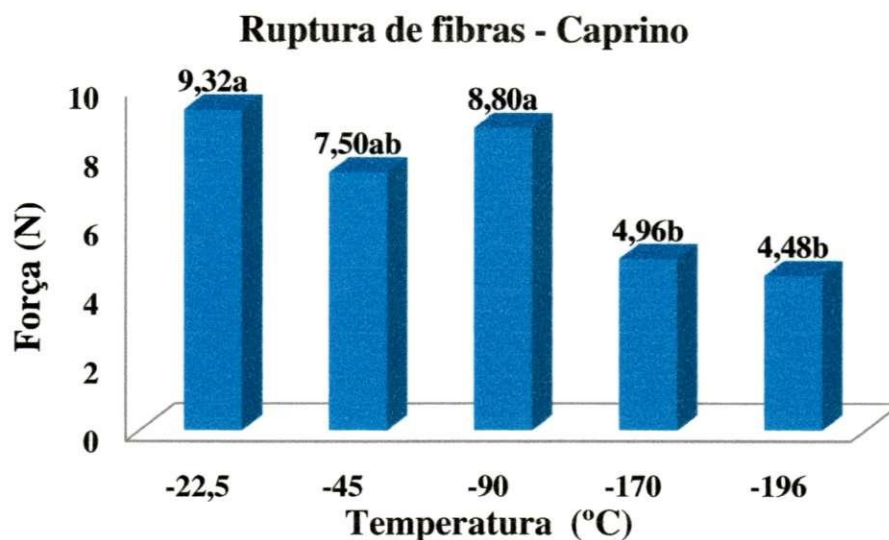
Verifica-se, na Figura 4.8, tendência da diminuição da força de corte com a diminuição da temperatura de congelamento do lombo da carne ovina, assim como ocorreu com a força de corte do lombo da carne caprina. Segundo PINTO et al. (2010), o principal fator que influenciou na textura das amostras da carne de vaca, medida pela força de cisalhamento, foi a velocidade de queda de temperatura e, conseqüentemente, o grau de contração do tecido muscular. Já HEINEMANN et al. (2003) concluíram estudando os fatores que influenciam a textura da carne de novilhos Nelore, que a textura final da carne é influenciada pelo grupo genético e, sobremaneira, por fatores que determinam a velocidade de resfriamento da carcaça.

As maiores forças de corte determinadas foram iguais a 371,10 e 315,57N para as amostras de lombo de carne ovina congelada a -22,5 e -45 °C. OLIVEIRA et al. (2004) encontraram, para o filé de lombo de carneiro, valor igual a 34,79 N para a força de cisalhamento.



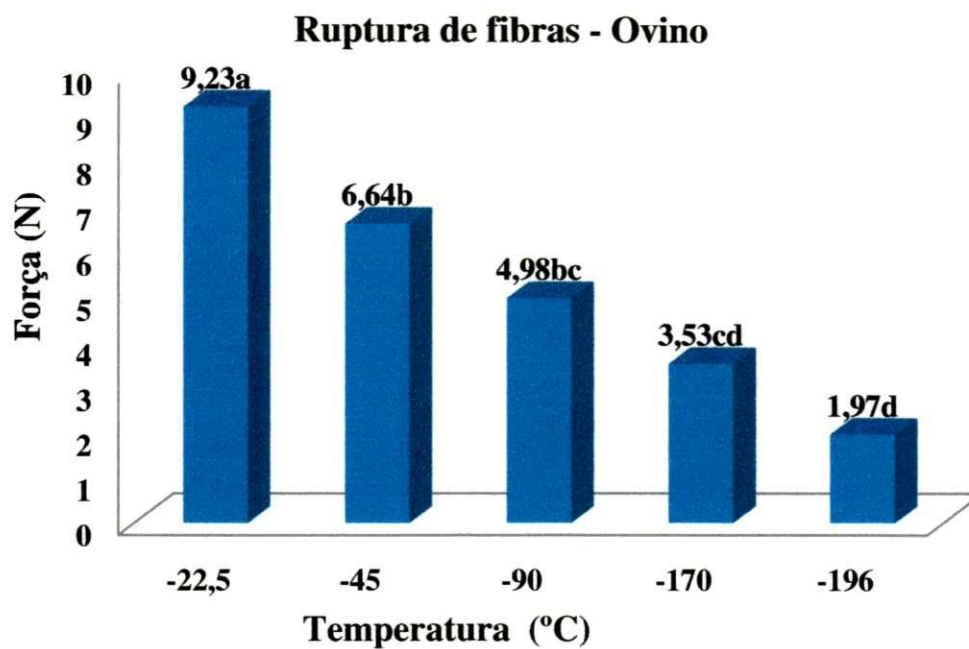
**Figura 4.8** - Parâmetro resistência ao corte do lombo de carne ovina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C

Observa-se na Figura 4.9, que os valores de ruptura das fibras de carne caprina tenderam a diminuir com a diminuição da temperatura de congelamento da carne. MAHECHA et al. (2007) observaram ao estudar o efeito do resfriamento sobre a textura *post-mortem* da carne do peixe matrinxã *Brycon cephalus* que os valores da força da ruptura foram menores para a carne após o resfriamento. Segundo os autores, o amolecimento *post-mortem* da carne de matrinxã durante a estocagem a -3 °C é causado pela degradação do tecido conectivo pericelular. As maiores forças utilizadas para romper a fibra do lombo da carne caprina foram de 9,32N (-22,5 °C), 7,50N (7,50 °C) e 8,80N (8,80 °C).



**Figura 4.9-** Parâmetro ruptura de fibras do lombo da carne caprina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C

De acordo com a Figura 4.10, os valores da força necessária para romper as fibras do lombo da carne ovina diminuíram com a diminuição da temperatura de congelamento, da mesma forma que a do lombo da carne caprina. MAHECHA et al. (2006) justificaram o amolecimento *post-mortem* da carne de matrinxã através da desintegração das fibras de colágeno do tecido conectivo pericelular. A desintegração das fibras de colágeno no tecido conectivo pericelular, mostra relação com a diminuição na força de ruptura obtida no teste instrumental, fato conhecido como amolecimento *post-mortem*. No congelamento do lombo da carne ovina percebe-se que a maior força necessária para a ruptura das fibras foi de 9,23N, observada para a amostra congelada a -22,5 °C.



**Figura 4.10** - Parâmetro ruptura de fibras do lombo da carne ovina após congelamento nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196°C



## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

### **Cinética de Congelamento**

As curvas cinéticas submetidas ao congelamento das amostras a  $-22,5$ ,  $-45$ ,  $-170$  e  $-196$  °C se comportaram como curva característica do congelamento da água pura, com as três fases do congelamento bem definidas, ou seja, resfriamento (Fase I), congelamento ou cristalização (fase II) e pós-congelamento (Fase III).

O lombo da carne ovina congelado a  $-22,5$  °C, congelou mais rapidamente que a do lombo da carne caprina, cujos tempos foram iguais a 10200 e 10800 segundos, respectivamente. Da mesma forma ocorreu nos congelamentos a  $-45$  e , com os tempos aproximadamente iguais a 6240 e 324 segundos, respectivamente.

Nas temperaturas de  $-170$ , as curvas de congelamento do lombo da carne caprina e ovina apresentaram ligeira diferença no tempo de congelamento com a carne caprina congelando mais rapidamente, em aproximadamente 1920 segundos em relação à carne ovina, que foi de 1940 segundos enquanto na temperatura de congelamento a  $-196$  °C o lombo da carne caprina congelou mais rapidamente que a carne ovina, cujos tempos foram 120 e 125 segundo, respectivamente.

As difusividades efetivas médias do lombo da carne caprina submetida ao congelamento a  $-22,5$ ,  $-45$ ,  $-170$  e  $-196$  °C foram iguais a 0,191, 0,218, 0,497 e 2,35  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente; já os valores de difusividade efetiva média para o congelamento do lombo da carne ovina foram iguais a 0,243 ( $-22,5$ °C), 0,246 ( $-45$  °C), 1,176 ( $-90$  °C), 0,634 ( $-170$  °C) e 2,44  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $-196$  °C). Comparando os valores da difusividade efetiva média do congelamento da carne caprina com o congelamento da carne ovina, observa-se que em todas as temperaturas de congelamento a difusividade efetiva média da carne ovina é maior que a da carne caprina.

## **Caracterização físico-química**

Os maiores valores de teor de água, pH, acidez e proteínas do lombo da carne caprina, foram iguais a 76,8447% (-45°C); 5,756 (-45 °C), 5,733 (-90 °C) e 5,770 (-196 °C); 0,052% (-90 °C); e 23,490% (-170 °C), respectivamente, enquanto os menores de teor de água, pH, acidez e proteínas foram iguais a 71,6773% (-90 °C), 5,530 (-22,5 °C), 0,032% (-170 °C) e 18,390 (-196 °C), respectivamente, mesmos que os valores de cinza do lombo da carne de caprino não tenham apresentado alterações significativas quanto às temperaturas de congelamento.

No lombo da carne caprina os maiores e menores valores para o teor de água foram iguais a 77,6433 (-22,5 °C) e 70, 5390 (-90 °C); pH iguais a 5,753 (-196 °C) e 5,610 (-22,5 °); acidez iguais a 0,047, 0,045, 0,044 % (-22,5, -45 e -170°C) e 0,040 (-196 °C); proteínas iguais a 20,643 e 20,953 % (-45 e -90 °C) e 18,923 e 18,720 (-22,5 e -170 °C) enquanto os valores de cinza do lombo da carne de ovina, da mesma forma que fora caprino, não apresentaram alterações significativas quanto às temperaturas de congelamento.

Os valores encontrados nas análises físico-químicas (teor de água, pH, acidez, proteínas e cinzas), não promoveram alterações significativas na qualidade da carne quando submetidas às diferentes temperaturas em relação aos valores encontrados na literatura.

## **Avaliação instrumental de atributos de textura**

Com a redução da temperatura de congelamento constatou-se tendência de diminuição da força de corte do lombo da carne caprina e ovina. Os valores de força de corte para o lombo da carne caprina e ovina nas temperaturas de congelamento estudadas, estão na faixa de 452,82 – 155,23N (-22,5 a -196 °C) e 371,10 – 141,02 (-22,5 a -196 °C), respectivamente.

Os valores de ruptura das fibras de carne caprina e ovina tenderam a diminuir com a diminuição da temperatura de congelamento. Os valores de ruptura de fibras para o lombo da carne caprina e ovina nas temperaturas de congelamento estudadas, estão na faixa de 9,23-4,48N (-22,5 a -196 °C) e 9,23-1,97N (-196 °C).

## 5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC DOS ALIMENTOS. A carne ovina. Disponível em: <http://correiogourmand.com.br> Acesso em: 02 de novembro de 2010.

ALMEIDA JÚNIOR, G. A.; COSTA, C.; MONTEIRO, A. L. G.; GARCIA, C. A.; MUNARI, D. P.; NERES, M. A. Qualidade da carne de cordeiros criados em creep feeding com silagem de grãos úmidos de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.1039-1047, 2004.

ALVES, D. D.; TONISSI R. H.; GOES, B.; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 135-149, 2005.

ARAÚJO, M. S. O. **Avaliação as características físico-químicas e sensoriais de polpas de acerola (Malpighia emarginata D.C) submetidas a diferentes técnicas de congelamento**. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande – PB. 2000, 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).

ASHRAE. **Refrigeration**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 2002.

AZEVEDO, P. R. A. O valor nutricional da carne. **Revista Nacional da Carne**. n.327, p.18-34, 2004.

BESERRA, F. J. et al. Características químicas e físico-químicas da carne de caprinos SRD com diferentes pesos de abate. **Revista Tecnologia de Carnes**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 1-6, 2001.

BEVILACQUA, M.; D'AMORE, A.; POLONARA, F. A multi-criteria decision approach to choosing the optimal blanching-freezing system. **Journal of Food Engineering**, v.63, p. 253-263, 2004.

BEZERRA, F.J; MONTE, A. L. S; BEZERRA, L. C. N. M; NASSU, R. T. Caracterização química da carne de cabrito da raça Moxotó e de cruzas Pardo Alpina x Moxotó. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 243-253, 2000.

BOONSUMREJ, S.; CHAIWANICH SIRI, S.; TANTRATIAN, S.; SUZUKI, T.; TAKAI, R. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 292–299, 2007.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017p.

CAMPANONE, L. A.; ROCHE, L. A.; SALVADORI, V. O.; MASCHERONI, R. H. Structural studies on unpackaged foods during their freezing and storage. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 5, p. E218- E226, 2006.

CARVALHO, R. B. **Potencialidade dos mercados para os produtos derivados de caprinos e ovinos** (2001). Disponível em <<http://www.capritec.com.br/art040521.htm>>. Acesso em 18 abr. 2011.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.2n. 1, p. 1-9, mar. 2008.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. Pergamon Press, Oxford, 1975.

CONTRADE - International trade statistics section yearbook, v. I - Trade by country  
United Nations Statistics Division DC2-1540, New York, 2009.

COSTA, R. G.; CARTAXO, F. Q.; SANTOS, N. M.; QUEIROGA, R. C. R. E. Carne caprina e ovina: composição lipídica e características sensoriais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.3, p.497-506, 2008.

DUARTE, T. F. **Qualidade nutricional e sensorial da carne de caprinos SRD e mestiços de Boer terminados em confinamento**. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2008. 652p.

FAO. Fao Stat **database results**. 2009. Disponível em: <http://apps.fao.org/faostat/servelet/>. Acesso em: 27 maio. 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.fao.org>. 2005. Acesso em 20 dez 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.fao.org>. 2007. Acesso em 10 out. 2010.

FAO. **Situacion de los mercados de productos basicos**. Disponível em: <http://www.fao.org>. 2006. Acesso em 20 out. 2010.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. 2. ed. Porto Alegre, Editora Artmed, 2006 602 p.

FENEMMA, O.R. **Food chemistry**. New York: Marcel Drecker, 2010. 1024p.

FIGUEIREDO, R. **Introdução à transferência de calor e massa**. João Pessoa: UFPB, Editora Universitária, 118 p., 2004.

FONTELES, T. C.; LOPES, M. N. F. **Congelamento de alimentos: Técnicas e normas**, Viçosa –MG. 1994. 68 p.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos - Princípios e Aplicações**, Editora Nobel, 2009 512p. .

GERMAN, J. B. Muscle lipids. **Journal Muscle Foods**, v.1, p.339-361, 1990.

HEDRICK, H. B.; ABERLE, E. D.; FORREST, J. C.; *et al.* **Principles of meat science**. 3ªed. Iowa, 1989 354 p..

HEINEMANN, R. J. B.; PINTO, M. F.; ROMANELLI, P. F. Fatores que influenciam a textura da carne de novilhos Nelore e cruzados Limousin-Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 8, 2003.

HOFFMAN, L.C.; MULLER, M.; CLOETE, S.W.P.; SCHMIDT, D. Comparison of six crossbred lamb types: sensory, physical and nutritional meat quality characteristics. **Meat Science**, v.65, p.1265-1274, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Economia, agropecuária, censo agropecuário**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2008/tabela\\_1\\_2\\_3.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2008/tabela_1_2_3.pdf)>. Acesso em: 5 nov. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Produção Pecuária Municipal**. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA/2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em 24 jan. 2010.

JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G. The use of CO<sub>2</sub> in packaging of fresh red meats and its effect on chemical quality changes in the meat: a review. **Journal of Muscle Foods**, v.13, p.143-168, 2002.

KANNAN, G.; KOUAKOU, B.; GELAYE, S. Color changes reflecting myoglobin and lipid oxidation in chevon cuts during refrigerated display. **Small Ruminant Research**, v. 42, n. 1, p. 67-75, 2001.

KASAHARA, G. L. **Tópicos em transferencia de calor y propiedades termofísicas en: refrigeración y congelacion de alimentos**. Santiago de Chile: Maval, 1986 132p.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 3, p. 93-104, 1994.

KOLBE, E. **Freezing technology**. In: Surimi and Surimi Seafood. New York: Marcel Dekker, Inc., chap. 7, p. 167-200, 2000.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6a ed. Porto alegre, 2005.384p.

LEOPOLDINO JÚNIOR, I.; CRUZ, L. B. D.; ASCARI, I. J.; SOARES, S. B.; GARCIA, I. F. F.; CARDOSO, D. A. Análises físico-químicas da carne de cordeiros Santa Inês, terminados em confinamento, suplementados com gordura associada com ionóforo. In: Reunião Regional da SBPC, 2010, Lavras -MG

MADRUGA, M.S; SOUSA,W.H; MENDES,M.S; BRITO,E.A. Carnes caprina e ovina no processamento e fabricação de produtos derivados. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.1.,n.2,p 61-67, dezembro 2007.

MADRUGA, M.S. Perspectivas de Mercados para a Industrialização das Carnes Caprinas e Ovinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRODUÇÃO DE CAPRINOS E OVINOS, I, Campina Grande, **Anais...**, Campina Grande: SBZ, 2006. CD-ROM.

MADRUGA, M. S. **Qualidade química, sensorial e aromática da carne caprina: Verdades e mitos**. In: ENCONTRO NACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA ESPÉCIE CAPRINA, 8., 2004. Botucatu. **Proceedings ...** Botucatu, p. 215-234, 2004.

MADRUGA, M.S; SOUZA, J. G.; ARRUDA, S. G. B.; NARAIN, N. Carne Caprina de animais mestiços: Estudos do perfil aromático. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p.323-329, 2003.

MADRUGA, M. S.; NARAIN, N.; ARRUDA, S. G. B.; SOUZA, J. G.; COSTA, R. G.; BESERRA, F. J. Influência da idade de abate e da castração nas qualidades físico-químicas, sensoriais e aromáticas da carne caprina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1562-1570, 2002.

MADRUGA, M. S.; NARAIN, N.; DUARTE, T. F.; SOUSA, W. H.; GALVÃO, M. S.; CUNHA, M. G. G.; RAMOS, J. L. F. Características químicas e sensoriais de cortes comerciais de caprinos SRD e mestiços de Bôer. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, v.25, n. 4, p. 713-719, 2005.

MAFART, P. **Ingenieria industrial alimentaria**: procesos físicos de conservacion. Zaragoza, España: Acribia, v.1, 1994 285 p. .

MAHECHA, H. S.; CARRASCO, S. C. P.; BEIRÃO, L. H.; FANCISCO, A.; NAGAKY, L. L. O. Efecto de la súper refrigeración sobre la textura de la carne de matrinxã (*Brycon cephalus*). **Revista Colombiana de Ciência Pecuária**, v. 19, n.2, 2006.

MAHECHA, H. S.; BEIRÃO, L. H.; FRANCISCO, A.; NAKAGHI, L. S. O.; CARRASCO, S. C. P. Efeito do resfriamento sobre a textura *post-mortem* da carne do peixe matrinxã *Brycon cephalus*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 59, n. 4, 2007.

MAPA – **Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. 2009. Acesso em 20 mai. 2009.

MARSHALL, B. "**How stuff works** - Como funciona a conservação de alimentos". Publicado em 01 de abril de 2000 (atualizado em 12 de maio de 2008). Disponível em: <http://lazer.hsw.uol.com.br/conservacao-de-alimentos1.htm>, acesso em 24 de agosto de 2011

MAZINGER. **Curva do texturômetro**. Disponível em: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/castro09/12.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/castro09/12.html). Acesso em mar 2011.

MILLE, A. J.; Ackerman, S. A.; Palumbo, S. A. Effect of frozen storag on functionality of meat for processing. **Journal of Food Science** v45, p1466-1477, 1982.

MONTEIRO, A. F. **Congelamento inicial da carne suína a baixas temperaturas e posterior armazenamento a -30°C: Alterações das características físicas e organolépticas**. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB. 2001, 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).



MORENO, G. M. B.; LEÃO, A. G. **Produtos embutidos de carnes ovina e caprina.** (2008). Disponível em: <http://www.farmpoint.com.br/radares-tecnicos/qualidade/produtos-embutidos-de-carnes-ovina-e-caprina-43432n.aspx>. Acesso em: ?

MONTEIRO FILHO, A. F.; BRAGA, M. E. D.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Congelamento de carne suína a temperaturas criogênicas: Alterações de algumas características físico-químicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.51-62, 2002.

NEVES FILHO, L. de C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos.** São Paulo – SP: IBF/ ABRAVA/ SINDRATAR, 1991. 176p.

NOGUEIRA FILHO, A. Tudo sobre caprino e ovino. **Revista O berro**, n. 96, novembro, p.18-19, 2006.

OGAWA, M. Refrigeração. In: **Manual de pesca, vol. I – Ciência e Tecnologia do Pescado (Ogawa, M. & Maia, E. L. eds.)**, Cap. 14. São Paulo: Varela, 1999.

OLIVEIRA, M. C.; ARAÚJO, N. K. S.; CASTRO, A. A. Estudo do efeito de temperaturas de congelamento e criocongelamento na estrutura física dos camarões (*Litopenaeus Vannamei Boone*) comercializados nos supermercados da cidade de Aracaju-SE. **Revista Scientian Plena**, v.7, n. 5, 2011.

OLIVEIRA I., SILVA T.J.P., FREITAS M.Q., TORTELLY R. & PAULINO F.O. Caracterização do processo de Rigor Mortis em músculos de cordeiros e carneiros da raça Santa Inês e maciez da carne. **Acta Scientiae Veterinariae**. v.32, p. 25-31, 2004.

ORDÓÑEZ PEREDA. J.A., et al. **Tecnologia de alimentos: Alimentos de origem animal.** Porto Alegre. Artmed Editora S.A, v. 2, 279 p., 2005.

OSÓRIO, J. C. et al. **Métodos para avaliação da produção da carne ovina: in vivo, na carcaça e na carne.** Pelotas: Editora Universitária, 107 p., 1998.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Ed. da UFG, v.1, 2006. 1110 p.

PINTO, M. F.; PONSANO, E. H. G.; SILVA, A. P. Espessura da lâmina de cisalhamento na avaliação instrumental da textura da carne. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p.1405-1410, 2010.

PINHEIRO, R. S. B.; SILVA SOBRINHO, A. G.; SOUZA, H. B. A.; YAMAMOTO, S. M. Qualidade de carnes provenientes de cortes da carcaça de cordeiros e de ovinos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1790-1796, 2009.

POWELL, V. H.; DICKINSON, R. F.; SHORTHOSE, W. R.; JONES, P. N. Consumer assessment of the effect of electrical stimulation on the colour and colour stability of semimembranosus muscles. **Meat Science**, v.44, n.3, p.213-223, 1996.

RALL, W. F. Cryopreservation of oocyte and embryos: Methods and applications. **Animal Reprod. Science**, v.28, p.237-245, 1992.

RENARD, J. P., BUI-XUAN-NGUYEN, N., GARNIER, V. Two-step freezing of two-cell rabbit embryos alter partial dehydration at room temperature. **Journal Reprod. Fert.**, v.71, p.573-580, 1984.

REVISTA Brasileira de Agropecuária. v.1, n.1, p.29, 1999.

ROÇA, R. O. Congelação. Disponível em [pucrs.campus2.br/~thompson/TPOA-Carne/Roca109.pdf](http://pucrs.campus2.br/~thompson/TPOA-Carne/Roca109.pdf)>. Acessado em 29/08/2011.

RODRIGUES, R. M. C. **Análise do desenvolvimento do rebanho ovino e caprino no Brasil em 2009**. Disponível em: <http://www.farmpoint.com.br/cadeia-produtiva/especiais/analise-do-desenvolvimento-do-rebanho-ovino-e-caprino-no-brasil-em-2009-67787n.aspx>. Acesso em: 22/08/2011

SAÑUDO, C.; ALFONSO, M.; SÁNCHEZ, A.; DELFA, R.; TEIXEIRA, A. Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. **Meat Science**, v.56 p.89-94, 2000.

SING, R.P.; HELDMAN. D.R. **Introduction to food engineering**. 2<sup>a</sup> ed. Academic Press, 1998. 499p.

SILVA SOBRINHO, A. G. **Integração de ovinos com outras espécies animais e vegetais**. In: SIMPÓSIO DE OVINOCULTURA DE CORTE DE MARÍLIA. Marília,SP: 17 p.CD-ROM, Unimar. 2007.

SILVA SOBRINHO, A.G.; PURCHAS, R.W.; KADIM, I.T. et al. Características de qualidade da carne de ovinos de diferentes genótipos e idades ao abate. **Revista Brasileira de Zootecnia**,v.34, n.3, p.1070-1078, 2005.

SOUZA, P.S. Comparação dos efeitos da temperatura de cocção e espessura da lâmina de corte na força máxima de cisalhamento Warner Bratzler, no Longissimus dorsi e, determinação de um modelo matemático que correlacione estes parâmetros com a força máxima de cisalhamento. **PUBVET**, v.2, n.7, fev 3, 2008. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/texto.php?id=149>. Acesso em 10 ago 2011.

SOUZA, H. B. A. Parametros físicos e sensoriais utilizados para avaliação de qualidade da carne de frango. In: V SEMINARIO INTERNACIONAL DE AVES E SUINOS – AveSui. Florianopolis- SC, 2006

SOBRAL, P. H. M. et al. Caprinos e ovinos de corte. **Anais do III SIMPÓSIO INTERNACIONAL**. João Pessoa – PB, 2007.

TAKEDA, T., ELDSSEN, R.P., SEIDEL Jr., G.E. Cryopreservation of mouse embryos by direct plunging into liquid nitrogen. **Theriogenology**, v.21, n.1, p.266, 1984.

VAZ, F. N.; RESTLE, J. SILVA, N. L. Q.; ALVES FILHO, D. C.; PASCOAL, L. L.; BRONDANI, I. L.; KUSS, F. Nível de concentrado, variedade da silagem de sorgo e

grupo genético sobre a qualidade da carcaça e da carne de novilhos confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 239-249, 2005.

VIANA, J. G. A. Panorama Geral da Ovinocultura no mundo e no Brasil. **Revista Ovinos**, v.4, n.12, 2008.

WHEELER, T. L., VOTE, D., LEHESKA, J. M., SHACKELFORD, S. D., BELK, K. E., WULF, D. M., GWARTNEY, B. L., KOHMARAIE, M. The efficacy of three objective systems for identifying beef cuts that can be guaranteed tender. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 12, p. 3315-3327, 2002.

ZHOU, G.H.; XU, X. L.; LIU, Y. Preservation technologies for fresh meat – A review. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 119–128, 2010.

**APÊNDICE A**

**UFMG - BIBLIOTECA**

**Tabela A1** – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento do lombo da carne caprina, nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196 °C

-22,5 °C		-45 °C			
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	0	1,000	4560	0,022
300	0,832	120	0,854	4680	0,021
600	0,719	240	0,759	4800	0,020
900	0,609	360	0,689	4920	0,018
1200	0,514	480	0,644	4560	0,022
1500	0,453	600	0,620	4680	0,021
1800	0,439	720	0,608	4800	0,020
2100	0,439	840	0,602	4920	0,018
2400	0,441	960	0,598	5040	0,018
2700	0,439	1080	0,592	5160	0,017
3000	0,439	1200	0,584	5280	0,014
3300	0,436	1320	0,574	5400	0,011
3600	0,434	1440	0,562	5520	0,010
3900	0,434	1560	0,546	5640	0,007
4200	0,430	1680	0,522	5760	0,006
4500	0,430	1800	0,500	5880	0,006
4800	0,426	1920	0,476	6000	0,006
5100	0,420	2040	0,451	6120	0,007
5400	0,410	2160	0,424	6240	0,007
5700	0,393	2280	0,388	6360	0,007
6000	0,369	2400	0,345		
6300	0,326	2520	0,303		
6600	0,270	2640	0,265		
6900	0,219	2760	0,227		
7200	0,176	2880	0,195		
7500	0,141	3000	0,165		
7800	0,113	3120	0,143		
8100	0,090	3240	0,122		
8400	0,072	3360	0,105		
8700	0,057	3480	0,090		
9000	0,043	3600	0,077		
9300	0,033	3720	0,070		
9600	0,025	3840	0,053		
9900	0,018	3960	0,045		
10200	0,012	4080	0,038		
10500	0,006	4200	0,032		
10800	0,002	4320	0,028		
11100	0,000	4440	0,025		

-90 °C				-170 °C	
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	420	0,422	0	1,000
10	0,990	426	0,418	10	0,981
20	0,979			20	0,963
30	0,969			30	0,935
40	0,963			40	0,896
50	0,958			50	0,887
60	0,953			60	0,878
66	0,946			66	0,874
72	0,941			72	0,872
78	0,932			78	0,866
84	0,927			84	0,862
90	0,919			90	0,858
120	0,914			120	0,851
126	0,907			126	0,848
132	0,903			132	0,842
138	0,898			138	0,838
144	0,893			144	0,832
150	0,891			150	0,827
180	0,888			180	0,820
186	0,887			186	0,817
192	0,884			192	0,812
198	0,883			198	0,802
204	0,881			204	0,797
210	0,881			210	0,792
240	0,880			240	0,783
246	0,878			246	0,774
252	0,868			252	0,770
258	0,857			258	0,763
264	0,839			264	0,757
270	0,835			270	0,750
300	0,822			300	0,742
306	0,792			306	0,735
312	0,713			312	0,726
318	0,667			318	0,715
324	0,603			324	0,711
330	0,603			330	0,696
360	0,567			360	0,687
366	0,483			366	0,674
372	0,474			372	0,665
378	0,462			378	0,649
384	0,445			384	0,636
390	0,430			390	0,621

-170 °C					
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
420	0,599	840	0,166	1260	0,059
426	0,581	846	0,161	1266	0,057
432	0,567	852	0,157	1272	0,055
438	0,543	858	0,153	1278	0,053
444	0,529	864	0,150	1284	0,052
450	0,515	870	0,144	1290	0,051
480	0,496	900	0,140	1320	0,049
486	0,484	906	0,138	1326	0,048
492	0,471	912	0,133	1332	0,047
498	0,449	918	0,127	1338	0,046
504	0,435	924	0,124	1344	0,045
510	0,424	930	0,119	1350	0,044
540	0,408	960	0,115	1380	0,043
546	0,400	966	0,115	1386	0,042
552	0,390	972	0,112	1392	0,042
558	0,369	978	0,110	1398	0,040
564	0,360	984	0,108	1404	0,040
570	0,353	990	0,105	1410	0,039
600	0,341	1020	0,103	1440	0,039
606	0,335	1026	0,102	1446	0,038
612	0,326	1032	0,100	1452	0,038
618	0,313	1038	0,098	1458	0,038
624	0,306	1044	0,098	1464	0,037
630	0,298	1050	0,095	1470	0,036
660	0,289	1080	0,095	1500	0,036
666	0,282	1086	0,092	1506	0,036
672	0,273	1092	0,090	1512	0,036
678	0,264	1098	0,089	1518	0,036
684	0,256	1104	0,087	1524	0,035
690	0,251	1110	0,087	1530	0,035
720	0,242	1140	0,085	1560	0,035
726	0,231	1146	0,085	1566	0,035
732	0,220	1152	0,083	1572	0,035
738	0,216	1158	0,078	1578	0,035
744	0,211	1164	0,077	1584	0,027
750	0,203	1170	0,073	1590	0,026
780	0,198	1200	0,070	1620	0,016
786	0,191	1206	0,068	1626	0,016
792	0,186	1212	0,066	1632	0,015
798	0,181	1218	0,064	1638	0,014
804	0,175	1224	0,062	1644	0,013
810	0,171	1230	0,060	1650	0,012



-170 °C		-196 °C	
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
1680	0,011	0	1,000
1686	0,010	5	0,989
1692	0,009	10	0,985
1698	0,009	15	0,975
1704	0,006	20	0,965
1710	0,005	25	0,965
1740	0,005	30	0,951
1746	0,005	35	0,936
1752	0,004	40	0,892
1758	0,003	45	0,890
1764	0,003	50	0,887
1770	0,003	55	0,865
1800	0,003	60	0,809
1806	0,002	65	0,809
1812	0,002	70	0,699
1818	0,002	75	0,582
1824	0,002	80	0,431
1830	0,001	85	0,268
1860	0,001	90	0,132
1866	0,001	95	0,053
1872	0,001	100	0,053
1878	0,001	105	0,018
1884	0,001	110	0,018
1890	0,001	115	0,013
1920	0,000	120	0,012

**Tabela A2** – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento do lombo da carne ovina, nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196 °C.

-22,5 °C		-45 °C			
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	0	1,000	3720	0,027
300	0,847	120	0,880	3840	0,022
600	0,677	240	0,791	3960	0,018
900	0,552	360	0,712	4080	0,015
1200	0,468	480	0,637	4200	0,014
1500	0,438	600	0,606	4320	0,012
1800	0,438	720	0,604	4440	0,012
2100	0,438	840	0,603	4560	0,012
2400	0,436	960	0,603	4680	0,014
2700	0,436	1080	0,603	4800	0,014
3000	0,434	1200	0,602	4920	0,014
3300	0,431	1320	0,602	5040	0,014
3600	0,429	1440	0,602	5160	0,012
3900	0,419	1560	0,600	5280	0,010
4200	0,401	1680	0,595	5400	0,007
4500	0,376	1800	0,560	5520	0,005
4800	0,352	1920	0,468	5640	0,004
5100	0,319	2040	0,367	5760	0,004
5400	0,282	2160	0,287	5880	0,005
5700	0,231	2280	0,229	6000	0,005
6000	0,182	2400	0,184	6120	0,007
6300	0,143	2520	0,147	6240	0,007
6600	0,110	2640	0,122		
6900	0,080	2760	0,100		
7200	0,059	2880	0,085		
7800	0,041	3000	0,073		
8400	0,029	3120	0,063		
9000	0,016	3240	0,054		
9600	0,008	3360	0,047		
10200	0,002	3480	0,040		
10800	0,000	3600	0,034		

-90 °C		-170 °C			
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	0	1,000	390	0,569
10	0,995	10	0,983	420	0,558
20	0,981	20	0,964	426	0,548
30	0,976	30	0,941	432	0,533
40	0,963	40	0,903	438	0,523
50	0,950	50	0,883	444	0,512
60	0,938	60	0,879	450	0,497
66	0,930	66	0,871	480	0,487
72	0,920	72	0,871	486	0,476
78	0,909	78	0,870	492	0,461
84	0,905	84	0,867	498	0,456
90	0,897	90	0,865	504	0,446
120	0,890	120	0,862	510	0,430
126	0,886	126	0,861	540	0,425
132	0,881	132	0,858	546	0,415
138	0,877	138	0,856	552	0,405
144	0,871	144	0,850	558	0,394
150	0,868	150	0,843	564	0,379
180	0,862	180	0,840	570	0,369
186	0,861	186	0,835	600	0,359
192	0,858	192	0,829	606	0,348
198	0,856	198	0,821	612	0,343
204	0,855	204	0,814	618	0,333
210	0,842	210	0,804	624	0,328
240	0,815	240	0,793	630	0,313
246	0,785	246	0,782	660	0,302
252	0,660	252	0,769	666	0,297
258	0,606	258	0,756	672	0,287
264	0,605	264	0,743	678	0,282
270	0,583	270	0,729	684	0,277
300	0,539	300	0,713	690	0,266
306	0,507	306	0,706	720	0,261
312	0,458	312	0,688	726	0,256
318	0,430	318	0,675	732	0,251
324	0,413	324	0,660	738	0,241
		330	0,649	744	0,236
		360	0,636	750	0,231
		366	0,624	780	0,225
		372	0,610	786	0,220
		378	0,594	792	0,215
		384	0,584	798	0,210

-170 °C					
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
840	0,195	1230	0,067	1644	0,031
846	0,190	1260	0,061	1650	0,031
852	0,184	1266	0,061	1680	0,031
858	0,179	1272	0,061	1686	0,026
864	0,174	1278	0,061	1692	0,026
870	0,169	1284	0,056	1698	0,026
900	0,169	1290	0,056	1704	0,026
906	0,164	1320	0,056	1710	0,026
912	0,159	1326	0,056	1740	0,026
918	0,154	1332	0,051	1746	0,026
924	0,154	1338	0,051	1752	0,026
930	0,149	1344	0,051	1758	0,026
960	0,143	1350	0,051	1764	0,026
966	0,138	1380	0,051	1770	0,026
972	0,138	1386	0,046	1800	0,026
978	0,133	1392	0,046	1806	0,026
984	0,133	1398	0,046	1812	0,026
990	0,128	1404	0,046	1818	0,026
1020	0,128	1410	0,046	1824	0,020
1026	0,123	1440	0,041	1830	0,020
1032	0,118	1446	0,041	1860	0,020
1038	0,113	1452	0,041	1866	0,020
1044	0,113	1458	0,041	1872	0,020
1050	0,102	1464	0,041	1878	0,020
1080	0,102	1470	0,041	1884	0,020
1086	0,102	1500	0,036	1890	0,020
1092	0,097	1506	0,036	1920	0,020
1098	0,097	1512	0,036	1926	0,020
1104	0,097	1518	0,036	1932	0,020
1110	0,092	1524	0,036	1938	0,020
1140	0,092	1530	0,036	1944	0,020
1146	0,087	1560	0,036	1950	0,000
1152	0,087	1566	0,031		
1158	0,082	1572	0,031		
1164	0,082	1578	0,031		
1170	0,082	1584	0,031		
1200	0,077	1590	0,031		
1206	0,077	1620	0,031		
1212	0,077	1626	0,031		
1218	0,067	1632	0,031		
1224	0,067	1638	0,031		

**Tabela A2** – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento do lombo da carne ovina, nas temperaturas de -22,5, -45, -90, -170 e -196 °C.

-22,5 °C		-45 °C			
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	0	1,000	3720	0,027
300	0,847	120	0,880	3840	0,022
600	0,677	240	0,791	3960	0,018
900	0,552	360	0,712	4080	0,015
1200	0,468	480	0,637	4200	0,014
1500	0,438	600	0,606	4320	0,012
1800	0,438	720	0,604	4440	0,012
2100	0,438	840	0,603	4560	0,012
2400	0,436	960	0,603	4680	0,014
2700	0,436	1080	0,603	4800	0,014
3000	0,434	1200	0,602	4920	0,014
3300	0,431	1320	0,602	5040	0,014
3600	0,429	1440	0,602	5160	0,012
3900	0,419	1560	0,600	5280	0,010
4200	0,401	1680	0,595	5400	0,007
4500	0,376	1800	0,560	5520	0,005
4800	0,352	1920	0,468	5640	0,004
5100	0,319	2040	0,367	5760	0,004
5400	0,282	2160	0,287	5880	0,005
5700	0,231	2280	0,229	6000	0,005
6000	0,182	2400	0,184	6120	0,007
6300	0,143	2520	0,147	6240	0,007
6600	0,110	2640	0,122		
6900	0,080	2760	0,100		
7200	0,059	2880	0,085		
7800	0,041	3000	0,073		
8400	0,029	3120	0,063		
9000	0,016	3240	0,054		
9600	0,008	3360	0,047		
10200	0,002	3480	0,040		
10800	0,000	3600	0,034		

-90 °C		-170 °C			
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	0	1,000	390	0,569
10	0,995	10	0,983	420	0,558
20	0,981	20	0,964	426	0,548
30	0,976	30	0,941	432	0,533
40	0,963	40	0,903	438	0,523
50	0,950	50	0,883	444	0,512
60	0,938	60	0,879	450	0,497
66	0,930	66	0,871	480	0,487
72	0,920	72	0,871	486	0,476
78	0,909	78	0,870	492	0,461
84	0,905	84	0,867	498	0,456
90	0,897	90	0,865	504	0,446
120	0,890	120	0,862	510	0,430
126	0,886	126	0,861	540	0,425
132	0,881	132	0,858	546	0,415
138	0,877	138	0,856	552	0,405
144	0,871	144	0,850	558	0,394
150	0,868	150	0,843	564	0,379
180	0,862	180	0,840	570	0,369
186	0,861	186	0,835	600	0,359
192	0,858	192	0,829	606	0,348
198	0,856	198	0,821	612	0,343
204	0,855	204	0,814	618	0,333
210	0,842	210	0,804	624	0,328
240	0,815	240	0,793	630	0,313
246	0,785	246	0,782	660	0,302
252	0,660	252	0,769	666	0,297
258	0,606	258	0,756	672	0,287
264	0,605	264	0,743	678	0,282
270	0,583	270	0,729	684	0,277
300	0,539	300	0,713	690	0,266
306	0,507	306	0,706	720	0,261
312	0,458	312	0,688	726	0,256
318	0,430	318	0,675	732	0,251
324	0,413	324	0,660	738	0,241
		330	0,649	744	0,236
		360	0,636	750	0,231
		366	0,624	780	0,225
		372	0,610	786	0,220
		378	0,594	792	0,215
		384	0,584	798	0,210

-170 °C					
Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
840	0,195	1230	0,067	1644	0,031
846	0,190	1260	0,061	1650	0,031
852	0,184	1266	0,061	1680	0,031
858	0,179	1272	0,061	1686	0,026
864	0,174	1278	0,061	1692	0,026
870	0,169	1284	0,056	1698	0,026
900	0,169	1290	0,056	1704	0,026
906	0,164	1320	0,056	1710	0,026
912	0,159	1326	0,056	1740	0,026
918	0,154	1332	0,051	1746	0,026
924	0,154	1338	0,051	1752	0,026
930	0,149	1344	0,051	1758	0,026
960	0,143	1350	0,051	1764	0,026
966	0,138	1380	0,051	1770	0,026
972	0,138	1386	0,046	1800	0,026
978	0,133	1392	0,046	1806	0,026
984	0,133	1398	0,046	1812	0,026
990	0,128	1404	0,046	1818	0,026
1020	0,128	1410	0,046	1824	0,020
1026	0,123	1440	0,041	1830	0,020
1032	0,118	1446	0,041	1860	0,020
1038	0,113	1452	0,041	1866	0,020
1044	0,113	1458	0,041	1872	0,020
1050	0,102	1464	0,041	1878	0,020
1080	0,102	1470	0,041	1884	0,020
1086	0,102	1500	0,036	1890	0,020
1092	0,097	1506	0,036	1920	0,020
1098	0,097	1512	0,036	1926	0,020
1104	0,097	1518	0,036	1932	0,020
1110	0,092	1524	0,036	1938	0,020
1140	0,092	1530	0,036	1944	0,020
1146	0,087	1560	0,036	1950	0,000
1152	0,087	1566	0,031		
1158	0,082	1572	0,031		
1164	0,082	1578	0,031		
1170	0,082	1584	0,031		
1200	0,077	1590	0,031		
1206	0,077	1620	0,031		
1212	0,077	1626	0,031		
1218	0,067	1632	0,031		
1224	0,067	1638	0,031		

---

-196 °C

---

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000
5	0,998
10	0,998
15	0,997
20	0,995
25	0,993
30	0,992
35	0,987
40	0,982
45	0,981
50	0,973
55	0,962
60	0,955
65	0,953
70	0,936
75	0,908
80	0,858
85	0,698
90	0,490
95	0,264
100	0,212
105	0,046
110	0,016
115	0,011
120	0,010
125	0,010

---