

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI**

Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Felipe Rosa Oliveira

**CARACTERÍSTICAS DA CARNE SUÍNA SUBMETIDA A
DIFERENTES MÉTODOS DE CONGELAMENTO**

DIAMANTINA - MG

2015

FELIPE ROSA OLIVEIRA

CARACTERÍSTICAS DA CARNE SUÍNA SUBMETIDA A DIFERENTES MÉTODOS DE
CONGELAMENTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Cleube Andrade Boari

DIAMANTINA - MG
2015

Ficha Catalográfica - Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6/2972

O48c 2015	<p>Oliveira, Felipe Rosa. Características da carne suína submetida a diferentes métodos de congelamento / Felipe Rosa Oliveira. – Diamantina : UFVJM, 2015. 40 p.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Cleube Andrade Boari</p> <p>Dissertação (mestrado) –Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Faculdade de Ciências Agrárias. Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2015.</p> <p>1. Congelamento convencional . 2. Perda de peso por cozimento. 3. Perda de peso por descongelamento. 4. Ultracongelamento. I. Boari, Cleube Andrade. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 634.364</p>
--------------	--

Elaborada com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FELIPE ROSA OLIVEIRA

**CARACTERÍSTICAS DA CARNE SUÍNA SUBMETIDA A DIFERENTES
MÉTODOS DE CONGELAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA em 30/04/2015


Prof. Cleube Andrade Boari – UFVJM
Orientador


Prof. Rogério Marcos de Souza – ICA/UFMG


Prof.ª Cristina Moreira Bonafé – UFVJM


Prof. Paulo Henrique Reis Furtado Campos – UFVJM


Pesq. Marcos Rodrigues Lagrotta – UFVJM

DIAMANTINA – MG
2015

AGRADECIMENTO

A Deus, por seu amor e confiança depositada em mim.

À minha família, meu porto seguro, pelo amor incondicional, pelo incentivo à sempre seguir em frente, diante das adversidades que surgiram durante minha caminhada.

À Camila, a luz que entrou e que desde então passa a iluminar minha vida, agradeço por seu amor, carinho e atenção.

A todos meus amigos que participaram dessa jornada, em especial, a Porcu, a Caco, o Pirapora, o Kakai, o Beijo, o Baby, o Careca, o João, o Júnior, o Rúbio e o Ronan.

Aos professores Cleube, Rodrigo e Aldrin, pela orientação, paciência e amizade.

À Elizângela, Mariana e o Geraldo pela enorme atenção e ajuda durante meu mestrado.

Ao senhor José Arnaldo pela atenção e fornecimento da matéria prima para pesquisa.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelo apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

RESUMO

OLIVEIRA, Felipe Rosa. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, abril de 2015. 40p. **Características da carne suína submetida a diferentes métodos de congelamento.** Orientador: Cleube Andrade Boari. Dissertação (Mestrado em Zootecnia).

Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de se avaliar as características de qualidade do lombo suíno submetido a diferentes condições de congelamento. Porções de 500 gramas, obtidas da desossa do músculo *longissimus thoracis et lumborum* foram embaladas à vácuo e submetidas ao congelamento convencional (-18°C) e ao ultracongelamento (-30°C , -40°C , -50°C , -60°C e -70°C). O congelamento foi realizado pelo período de 24 horas. Posteriormente a este período de congelamento, as porções foram estocadas (-18°C) pelos tempos de 1, 30, 60, 90 e 120 dias. Foram determinados: perda de peso por descongelamento; pH; cor ($L^*a^*b^*$, C, H°); capacidade de retenção de água; perda de peso por cozimento; força de cisalhamento; umidade; massa seca; proteína; gordura; e resíduo mineral fixo. Estas análises foram realizadas no lombo congelado e no lombo resfriado (4°C) não congelado. Não houve efeito significativo das temperaturas de congelamento e dos tempos de armazenamento, no pH, na luminosidade (L^*), no teor de vermelho (a^*), no croma (C), na capacidade de retenção de água, na força de cisalhamento e na composição química do lombo suíno. Estas características foram semelhantes às aquelas observadas no lombo resfriado. A perda de peso por descongelamento, o teor de amarelo (b^*), o matiz (H°) e a perda de peso por cozimento não foram influenciados pelas diferentes temperaturas de ultracongelamento, mas foram influenciados pelos tempos de estocagem. A perda de peso por descongelamento e a perda de peso por cozimento foi maior no lombo congelado à -18°C do que no lombo congelado à -30°C . Para se reduzir as perdas de peso por descongelamento se recomenda o congelamento do lombo suíno a -30°C .

Palavras-chave: Congelamento convencional, Perda de peso por cozimento, Perda de peso por descongelamento, Ultracongelamento.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Felipe Rosa. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, february de 2015. 40p. **Pork characteristics subjected to different freezing methods.** Adviser: Cleube Andrade Boari. Dissertation (Master's degree in Animal Science).

This research was conducted with the objective of evaluating the quality characteristics of pork loin under different conditions from freezing. Portions of 500 grams, obtained from the *longissimus thoracis et lumborum* muscle et been vacuum packed and subjected to conventional freeze ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) and deep freezing ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Freezing was performed by 24 hour period. Subsequent to this period of freezing, the portions were stored ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) for times of 1, 30, 60, 90 and 120 days. Were determined: weight loss thawing, pH, color (L^* a^* b^* , C, H°), water holding capacity, cooking weight loss, shear force; humidity, dry matter, protein, fat, and ash. These analyzes were performed on frozen loin and refrigerated loin ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$). There was no significant effect of freezing temperatures and storage times in pH, lightness (L^*), red content (a^*), chroma (C), water retention capacity, shear force, the chemical composition of pork loin. These characteristics were similar to those observed in the refrigerated loin. The weight loss for thawing, the yellow content (b^*), hue (H°) and cooking weight loss were not influenced by the different temperatures of deep freezing, but were influenced by storage time. Weight loss by thawing and cooking weight loss was greater in the fillet frozen to $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ than the fillet frozen to at $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. To reduce the weight loss for thawing is recommended to freeze the pork loin at $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: Conventional freezing, Cooking weight loss, Weight loss for thawing, Ultrafreezing.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Carne suína: aspectos gerais	9
2.2. Congelamento e conservação da carne suína	11
2.3. Métodos de congelamento	13
2.4. Congelamento e características de qualidade da carne	14
2.4.1. pH.....	14
2.4.2. Luminosidade e cor da carne congelada.....	15
2.4.3. Capacidade de retenção de água	17
2.4.4. Força de cisalhamento	17
2.5. Referências bibliográficas	19
3. ARTIGO	23
3.1. CARACTERÍSTICAS DA CARNE SUÍNA SUBMETIDA A DIFEREN- TES MÉTODOS DE CONGELAMENTO	23
Resumo	23
Abstract	24
Introdução	25
Material e Métodos	27
Resultados e Discussão	30
Conclusão	36
Agradecimentos	37
Referências bibliográficas	38

1. INTRODUÇÃO GERAL

A carne suína é a mais produzida e consumida do mundo. No entanto, de forma geral, as principais regiões produtoras desta carne estão distantes dos maiores e mais importantes centros de consumo. Esta é a realidade da cadeia produtiva da carne suína no Brasil, tendo-se em vista que os maiores produtores estão instalados nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Minas Gerais e São Paulo e os clientes para a carne podem estar em estados distantes, como os do norte e do nordeste e em países como Rússia, Hong Kong, Japão e países da União Européia. Por esta razão, faz-se necessária a utilização de métodos de conservação que propiciem o transporte da carne a longas distâncias, sendo preservadas, ao máximo, as suas características iniciais.

Dentre os métodos empregados para a conservação da carne, o congelamento é o mais difundido, pois propicia a extensão da vida útil dos constituintes da matriz cárnea, reduz a atividade de enzimas deteriorantes, reduz a rancificação hidrolítica de lipídeos e reduz a proliferação de microrganismos patogênicos e deteriorantes. Diferente de outras técnicas de conservação, como a cura, a salga e a defumação, a utilização do frio, com o congelamento não são introduzidos componentes químicos sendo, desta forma, não é residual. Comparadas às referidas técnicas, o congelamento causa menor alteração nas características sensoriais e físico-químicas da carne fresca.

Entretanto, mesmo com seus aspectos positivos, o congelamento, caso seja utilizado, pode ocasionar modificações na ultraestrutura da matriz cárnea, as quais promovem alterações em características que mantêm correlação com a qualidade da carne. Os principais danos se relacionam à formação de cristais de gelo no sarcoplasma dos miócitos e no fluido extracelular. Caso estes cristais sejam grandes há possibilidade de que o sarcolema dos miócitos seja rompido e, durante o descongelamento, haja o extravasamento do sarcoplasma por estes orifícios, ocasionando a perda de fluidos, importantes para o rendimento do processamento industrial e doméstico e para a qualidade da carne.

Os cristais de gelo de maiores dimensões são formados quando a velocidade de congelamento da carne é lenta, o que favorece a reunião dos cristais que gradualmente se formam no sarcoplasma ou no fluido extracelular. Por esta razão o congelamento rápido, no qual são empregados equipamentos mais robustos e temperaturas menores, tem sido considerado como a melhor forma de se congelar a carne. Nestas condições, a velocidade de congelamento é maior e o sarcoplasma e o fluido extracelular se tornam rapidamente mais densos, o que reduz a mobilidade dos cristais de gelo, evitando-se a formação de estruturas

maiores e com menor estado de energia. Com o congelamento lento há menor quantidade de cristais de gelo no sarcoplasma e no fluido extracelular, no entanto, estes são de maior tamanho. Com o congelamento rápido há maior quantidade de cristais de gelo, mas de menor tamanho e com menor possibilidade de danificar o sarcolema.

As principais características de qualidade da carne que podem ser influenciados pela forma com a qual se procede ao congelamento são a perda de peso por descongelamento, a capacidade de retenção de água, a perda de peso por cozimento e a força de cisalhamento. Entretanto, durante o processo de exsudação do sarcoplasma podem ser lixiviados constituintes solúveis importantes como: a água, o ácido láctico, os prótons hidrogênio, e os pigmentos cromogênicos, como a mioglobina, no qual, são componentes importantes para o sabor, a cor, a maciez e a conservação do produto cárneo. Portanto, além dos prejuízos de ordem econômica, a carne apresenta alterações que podem influenciar na sua aceitação pelo cliente.

Além destas questões, deve-se considerar que o congelamento da carne é caro e requer investimentos em instalações, equipamentos, condições especiais de transporte, colaboradores qualificados e energia para a geração do frio artificial. Sendo assim, com a realização de pesquisas sobre características de qualidade da carne em resposta a métodos de congelamento há possibilidade de se reduzir, principalmente, os custos energéticos do processo. Nestes últimos tempos em que a energia brasileira se torna cara ao setor produtivo, tais reduções de consumo se fazem ainda mais pertinentes.

Considerando-se o exposto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar as características da carne suína submetida a diferentes métodos de congelamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Carne Suína: aspectos gerais

A carne suína é a mais produzida e a mais consumida em todo mundo (TEIXEIRA & RODRIGUES, 2013). De acordo com dados publicados pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) no ano de 2011 o consumo *per capita* mundial de carne suína foi de 15,56 kg (FAO, 2015).

Conforme dados apresentados pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), os maiores produtores mundiais da carne suína são a China, o bloco de países da União Européia, os Estados Unidos e o Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Produção mundial da carne suína em equivalente carcaça (mil tonelada).

País	Ano							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
China	46.505	42.878	46.205	48.905	51.070	49.500	52.350	53.800
U. Européia	21.791	22.858	22.596	22.010	22.627	22.953	22.526	22.450
Estados Unidos	9.559	9.962	10.599	10.442	10.186	10.331	10.555	10.508
Brasil	2.830	2.990	3.015	3.130	3.195	3.227	3.330	3.370

Fonte: Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA).

O comércio internacional da carne suína, em 2013, movimentou em importações o quantitativo de 6.810 milhões de toneladas, em equivalente de carcaça. No referido ano base, as importações foram lideradas pelo Japão (1.240 milhões de toneladas), seguido pela Rússia (900 mil toneladas), México (785 mil toneladas) e China (750 mil toneladas) (ABPA).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais da carne suína. Em 2013, o país produziu 3.370 milhões de toneladas, em equivalente de carcaça, sendo por isto, classificado como o quarto maior produtor mundial (ABPA). Neste ano, o estado de Santa Catarina foi o maior produtor nacional da carne suína, seguido pelo Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais (Tabela 2).

Tabela 2. Produção da carne suína no Brasil (mil cabeças).

Estado	Ano							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
SC	8.421	8.670	8.422	8.640	8.580	8.989	9.153	9.042
RS	5.609	5.800	6.366	7.059	6.895	7.000	7.050	6.971
PR	5.009	5.084	5.166	5.673	5.710	5.923	6.020	6.001
MG	4.037	4.193	4.521	4.747	4.784	5.095	5.419	5.439

Fonte: Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA).

A carne suína apresenta interessante valor nutricional para a dieta humana, sendo na Tabela 3 apresentada a sua composição bromatológica.

Tabela 3. Composição bromatológica média do lombo suíno.

Constituinte	Teor (g ou mg.100g ⁻¹)
Umidade (g)	76,00
Calorias (kcal)	109,00
Proteína (g)	20,95
Lipídios (g)	2,17
Resíduo mineral (g)	1,03
Carboidratos (g)	0,5
Cálcio (mg)	5,00
Ferro (mg)	0,98
Magnésio (mg)	27,00
Fósforo (mg)	247,00
Potasío (mg)	399,00
Sódio (mg)	53,00
Zinco (mg)	1,89
Colina (mg)	80,80
Niacina (mg)	6,68
Tiamina (mg)	0,98
Ac. pantotênico (mg)	0,85
Ácido graxo saturado (g)	0,69
Ácido graxo monoinsaturado (g)	0,79
Ácido graxo poliinsaturado (g)	0,38
Colesterol (mg)	65,00

Fonte: USDA

Devido ao maior número de informações a respeito dos alimentos, os consumidores se tornam mais exigentes com a qualidade da carne e, desta forma, a cadeia produtiva deve se preparar para atendê-los. Para assegurar a qualidade da carne suína, diversos procedimentos produtivos devem ser gerenciados, como o sistema de produção, as instalações, a nutrição, a genética, a sanidade, o bem-estar, o manejo pré-abate, o abate, o processamento e o controle de qualidade da carcaça e da carne, a distribuição e a comercialização. A negligência de qualquer uma destas etapas pode ocasionar depreciação na qualidade e na segurança do produto cárneo, com riscos de impactar a sua comercialização e a sua aceitação (CULAU et al., 2002ab; MANCINI & HUNT, 2005; GUÀRDIA et al., 2005; SANTANA et al., 2009). A tomada de decisão de compra e consumo da carne pelo consumidor contemporâneo não se baseia apenas no seu valor nutricional, mas também na sua qualidade sensorial, na forma como é produzida e comercializada (BARBOSA et al., 2006).

2.2. Congelamento e conservação da carne suína

A carne apresenta diversos parâmetros e atributos correlacionados a sua qualidade e aceitação, como a sua cor, luminosidade, textura, sabor, aroma, aparência e composição química, os quais devem ser preservados, ao máximo o possível, ao longo de todas as etapas da cadeia produtiva até o momento de compra e do consumo (BONAGURIO et al., 2003; MACEDO et al., 2009).

Devido as suas características intrínsecas, como elevada atividade de água, variedade e biodisponibilidade de nutrientes, presença de enzimas autolíticas e possibilidade de proliferação de microrganismos, a carne fresca pode ser bastante suscetível à deterioração (MUELA et al., 2012). Portanto, são necessários métodos para a sua conservação e para a extensão da vida útil de seus constituintes.

A salga, a cura, a defumação e a dessecação são métodos utilizados pelo homem para a conservação da carne desde épocas remotas. Tais técnicas, embora permitam estender a vida útil da carne, promovem consideráveis transformações nas suas características iniciais.

Com o advento das técnicas de produção do frio artificial, a partir do fim do século XIX e, principalmente, com a sua popularização no decorrer do século XX, tanto o resfriamento quanto o congelamento se tornaram as principais técnicas para a conservação da carne fresca. As razões para isto incluem as menores alterações na matriz cárnea quando comparada a outras técnicas e a melhor preservação de características químicas e sensoriais da carne fresca (XIA et al., 2009; SOYER et al., 2010; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012a). Por estas vantagens, o congelamento tem sido rotineiramente utilizado pela indústria da carne e pelos consumidores para conservação e o armazenamento da carne (FAROUK, WIELICZKO & MERTS, 2003; BERTAM, ANDERSEN & ANDERSEN, 2007; PIETRASIK & JANZ, 2009; VIEIRA et al., 2009; MORGADO et al., 2011).

Mesmo com os benefícios anteriormente descritos, caso o congelamento da carne seja empregado ou gerenciado de forma inadequada poderá haver modificações na ultraestrutura da matriz cárnea, as quais potencialmente alterariam as características correlacionadas com a qualidade da carne. Os principais danos se relacionam à formação de cristais de gelo no sarcoplasma dos miócitos (MARTINO et al., 1998; ORDÓÑEZ, 2005; FELLOWS, 2006; MUELA et al., 2010; KOBLITZ, 2011; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012a). Caso estes cristais apresentem diâmetros maiores há possibilidade de que o sarcolema dos miócitos seja seccionado e, durante o descongelamento, haja o extravasamento do sarcoplasma, ocasionando a perda de fluídos, os quais importantes ao rendimento do processamento industrial e doméstico e à qualidade da carne.

Os cristais de gelo de maiores dimensões são formados quando a velocidade de congelamento da carne é lenta, o que favorece a reunião dos cristais que gradualmente se formam no sarcoplasma. Por esta razão, o congelamento rápido, no qual são empregados equipamentos mais robustos e temperaturas menores, tem sido considerado como a melhor forma de se congelar a carne. Nestas condições, com maior velocidade de congelamento, o sarcoplasma se torna mais denso de forma mais rápida, o que reduz a mobilidade dos cristais de gelo no sentido de formar estruturas maiores e com menor estado de energia. Admite-se que com o congelamento rápido há maior quantidade de cristais de gelo, mas de menor tamanho e menor possibilidade de danificar o sarcolema (MARTINO et al., 1998; KOBLITZ, 2011).

Os principais parâmetros de qualidade da carne que podem ser influenciados pela forma com a qual se procede ao congelamento são o pH, a perda de peso por descongelamento, a capacidade de retenção de água, a perda de peso por cozimento, a força de cisalhamento e a suculência. Portanto, além dos prejuízos de ordem econômica, a carne pode apresentar alterações suficientes para influenciar a sua aceitação pelo cliente (NGAPO et al., 1999; ORDÓÑEZ, 2005; FERNÁNDEZ et al., 2007; KOBLITZ, 2011; MUELA et al., 2012).

Além dos danos físicos causados no sarcolema pelos cristais de gelo, com o congelamento pode haver desnaturação das proteínas do miócito, como actina e miosina. Tal situação decorre do fato de que à medida que a água se congela, há concentração de solutos no sarcoplasma, dentre eles o ácido lático e prótons hidrogênio. Por consequência, ocorre a redução do pH do sarcoplasma, que gradativamente promove a neutralização de pólos elétricos das proteínas, os quais são relacionados à sua hidrofilia e capacidade de retenção de água (FELLOWS, 2006; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012b). Conforme abordado, na decorrência da menor capacidade de retenção de água das proteínas miofibrilares, há mais intensa exsudação e, conseqüentemente, depreciação da qualidade da carne (NGAPO et al., 1999; ORDÓÑEZ, 2005; KOBLITZ, 2011).

O congelamento enquanto método de conservação e armazenamento será eficiente se houver controle de variações de temperaturas (ZHU et al., 2004; MUELA et al., 2012). Caso haja oscilação de temperatura durante a estocagem da carne, pode ocorrer a reorganização dos cristais de gelo formando estruturas maiores, em processo denominado por recristalização (KOBLITZ, 2011; ORDÓÑEZ, 2005).

2.3. Métodos de congelamento

Conforme Fellows (2006), o congelamento pode ser definido como o procedimento em que há redução da temperatura do alimento para valores inferiores ao de seu ponto de congelamento, e, por consequência uma proporção da água presente nos fluidos matriciais se solidifica e há formação de cristais de gelo.

A água, indispensável aos processos biológicos, é o constituinte mais abundante da carne, perfazendo ao entorno de $75\text{g}.100\text{g}^{-1}$ (TRAORE et al., 2012; GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013). O congelamento da água na carne se inicia quando a temperatura é inferior a $-1,5^{\circ}\text{C}$ (FELLOWS, 2006; FAROUK et al., 2013). Entretanto, nem toda a água presente na carne é congelável. Isto se deve ao fato de que na medida em que se formam os cristais de gelo, o fluido não congelado se torna mais rico em solutos, o que exige uma temperatura de congelamento cada vez menor. De acordo com Ordóñez (2005), 85% da água da carne pode ser congelada na temperatura de -20°C e 87% da água congelada a -30°C e, a -65°C , quase a totalidade da água estaria congelada.

O congelamento se baseia na definição de que calor é energia e não se perde, mas se transfere do corpo de maior calor para o corpo de menor calor. Neste contexto, quando se deseja congelar a carne, deve-se expô-la ao contato com agentes congelantes, como o ar frio estático, ar frio circulante, superfície (troca de calor por placas) e fluidos.

A escolha do método de congelamento a ser empregado no produto cárneo deverá ser determinada de acordo com a velocidade de congelamento requerida, o tamanho e a forma da peça de carne e a embalagem utilizada (ORDÓÑEZ, 2005; FELLOWS, 2006).

O congelamento realizado pelo contato com placas metálicas, em ar estático, é mais recomendado para porções de carne desossada e para porções menores. Nesse método, as placas podem estar dispostas no sentido horizontal ou vertical e a propagação de calor se faz por condução, sendo atingidas temperaturas de -30°C a -40°C (EVANGELISTA, 1995; ORDÓÑEZ, 2005).

O congelamento por ar frio é bastante difundido e pode ser realizado de duas maneiras, por ar estático e por resfriamento forçado. O congelamento por ar estático é um método simples, porém de baixa eficiência, pois a transferência de calor por meio da condução é baixa (FELLOWS, 2006). Esse é o método de congelamento disponível em congeladores de câmaras (geladeiras) domésticas.

O processo que emprega o ar forçado ou corrente de ar é considerado como o mais eficaz, pois na medida em que se aumenta a velocidade do ar, há aumento no coeficiente de transferência de calor. Temperaturas entre -20°C e -40°C e velocidade de circulação do ar de

2 a 4 m.s⁻¹ são recomendados para o congelamento da carne (EVANGELISTA, 1995; ORDÓÑEZ, 2005).

Segundo Evangelista, 2005, os fluídos criogênicos também são utilizados para congelar produtos cárneos, no qual são utilizados o dióxido de carbono e o nitrogênio líquido, sendo este último o mais empregado, pois é inerte, atóxico, apresenta baixo ponto de ebulição e elevado coeficiente de transferência de calor. Para a utilização de fluidos criogênicos, o produto deve ser embalado para se evitar o contato com o líquido, que pode promover alteração no sabor do produto e nas características sensoriais da carne. A utilização de fluidos criogênicos pode ser por imersão do produto ou por atomização (ORDÓÑEZ, 2005).

2.4. Congelamento e características de qualidade da carne

Embora o congelamento contribua para assegurar as características de qualidade da carne fresca por maior tempo, ainda assim não há isenção de perdas ou alterações. Para reduzi-las há de se assegurar o bom gerenciamento do processo para se prevenir, por exemplo, variação na temperatura de estocagem, que pode favorecer a recristalização.

Importantes parâmetros correlacionados à qualidade da carne como o pH, a cor, a capacidade de retenção de água, a perda de peso por cozimento e a força de cisalhamento podem ser influenciados pelo método de congelamento da carne e pelos procedimentos de armazenamento da carne congelada.

2.4.1. pH

O pH da carne é principalmente condicionado pela presença de prótons hidrogênio liberados durante a produção do ácido láctico, no processo de acidificação *post-mortem* dos músculos. Esse é considerado como um dos principais parâmetros correlacionados à qualidade da carne, pois, influencia diretamente nos demais parâmetros (Bonaguriu et al., 2003; Osório, Osório & Sañudo, 2009), como a cor, a luminosidade, a maciez, a capacidade de retenção de água e a perda de peso por cozimento. Além disso, o pH exerce importante papel na conservação e na segurança alimentar da carne, em função da possibilidade de que sejam eliminados eventuais microrganismos contaminantes. Para a carne suína são desejáveis valores dentro do intervalo de 5,4 a 5,8 (O'NEILL et al., 2003; HAMOEN, VOLLEBREGT & VAN DER SMAN, 2013).

Considerando-se a relevância desse parâmetro para a qualidade da carne, deve-se intervir nos processos para que os valores de pH não se alterem durante as etapas produtivas (GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013).

Durante o congelamento pode haver redução do pH da carne suína, que pode ser provocada pela desnaturação das proteínas tamponantes e liberação dos íons de hidrogênio. Outra possibilidade seria a perda de fluido da matriz cárnea, que poderia aumentar a concentração de solutos e contribuir para diminuir o pH da carne (LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012ab). Conforme Pires et al. (2002), é possível que com a proximidade do pH da carne fresca ao ponto isoeletrico das proteínas (pI ~5,2) aumente as perdas por descongelamento.

2.4.2. Luminosidade e cor da carne congelada

A cor da carne é uma das primeiras características avaliadas pelo consumidor no momento da compra e uma das que mais interferem em sua tomada de decisão de compra (OSÓRIO, OSÓRIO & SAÑUDO, 2009; VENTURINI, CONTRERAS-CASTILHO & FARIA, 2009). De acordo com Warris (2010), variações na cor da carne estão relacionadas com o grau de oxigenação e oxidação da mioglobina, o principal pigmento cromogênico da carne.

A mioglobina é composta por um grupo heme, responsável direto pela cor, e um grupo proteico representado pela globina (ORDÓÑEZ, 2005; VENTURINI, CONTRERAS-CASTILHO & FARIA, 2009; GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013). O grupo heme, também denominado por anel de porfirina ou hematina, apresenta estrutura plana e é formado por quatro anéis pirrólicos unidos por pontes metálicas, havendo um átomo de ferro no centro desta estrutura que se une por ligações covalentes ordinárias aos átomos de hidrogênio do anel de porfirina (VENTURINI, CONTRERAS-CASTILHO & FARIA, 2009; ORDÓÑEZ, 2005). O átomo de ferro pode realizar seis ligações covalentes, das quais quatro acontecem com os átomos de hidrogênio do grupo heme, uma com a histidina da globina e a sexta permanece livre para se ligar a átomos específicos (O_2 , CO_2 , NO , H_2O) responsáveis pela formação característica da cor da carne (MANCINI & HUNT, 2005; GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013).

O estado no qual o átomo de ferro se encontra na molécula de mioglobina irá determinar a cor da carne. O átomo de ferro na forma reduzida de íon ferroso (Fe^{2+}) hidratado confere à mioglobina a denominação de deoximioglobina ou mioglobina reduzida, a qual tem coloração vermelho-púrpura. Quando a deoximioglobina é exposta ao oxigênio há formação da oximioglobina, responsável pela coloração vermelho-cereja da carne (ORDÓÑEZ, 2005; KOBLITZ, 2011). O íon férrico (Fe^{3+}) é a forma oxidada do átomo de ferro, condição na qual o pigmento é denominado por metamioglobina. A metamioglobina forma coloração marrom

ou parda na carne (OSÓRIO, OSÓRIO & SAÑUDO, 2009; VENTURINI, CONTRERAS-CASTILHO & FARIA, 2009).

A cor da carne pode ser avaliada de maneira subjetiva e objetiva. Da forma subjetiva (análise sensorial), a cor é avaliada por indivíduos, por seu próprio sistema sensorial (visão) e com o uso de escalas (KOBLOITZ, 2011). A avaliação objetiva da cor da carne é realizada com equipamentos denominados colorímetros, podendo ser expressa pelo sistema CIELAB. Uma vez combinados, esses valores podem ser expressos em coordenadas XYZ, no qual o valor de a^* é apresentado no eixo X, o valor de b^* no eixo Y e o valor de L^* no eixo Z (AMSA, 2012). O componente L^* expressa a luminosidade e seus valores variam de 0 (preto) a 100 (branco). O componente a^* expressa a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos. O componente b^* expressa a cor amarela para valores positivos e cor azul para valores negativos. (AMSA, 2012). Outros dois parâmetros, o matiz e croma podem ser calculados a partir dos valores de a^* e b^* . Ambos contribuem com a melhor compreensão da cor, pois o matiz permite detectar mudanças de coloração em função de algum tratamento e o croma determina a intensidade da tonalidade das cores (AMSA, 2012).

Uma irregularidade do processo de congelamento da carne denominada queima pelo frio é outro problema que pode interferir na aparência do produto, principalmente em sua cor e luminosidade.

A perda por exsudação pode levar ao aumento na luminosidade e alterações na cor. A maior presença de água na superfície do corte cárneo pode promover maior refletividade de luz e menor intensidade nos teores de vermelho e amarelo (FAROUK, WIELICZKO & MERTS, 2003). Nesse contexto, Xia et al. (2009) verificaram que os ciclos de congelamento e de descongelamento afetaram a cor do lombo suíno, havendo redução na intensidade de vermelho (a^*) e aumento na luminosidade (L^*) e na intensidade de amarelo (b^*). Os referidos autores atribuíram essas alterações à oxidação lipídica. Conforme Morgado et al. (2011), a descoloração da carne poderia ser relacionada com a produção de radicais livres durante a oxidação dos lipídios, os quais iniciariam a oxidação da mioglobina.

Outro fator que também pode causar alterações na cor da carne é a desnaturação da globina, a qual faz parte da molécula de mioglobina. Desta forma, a suscetibilidade para auto-oxidação da mioglobina poderia ser potencializada, com subsequente perda de cor na carne (LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012a).

2.4.3. Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção da água é influenciada pela capacidade dos miócitos, que compõem a matriz cárnea, de reter total ou parcialmente a água em seu interior. Este parâmetro é relevante para se avaliar a qualidade e a aptidão tecnológica da carne para o processamento agroindustrial, principalmente quando são utilizados processos de aplicação de pressão, moagem, cocção, maturação, congelamento, armazenamento, entre outros (ORDÓÑEZ, 2005; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN 2012a; KIM et al., 2013).

De acordo com Koblitz (2011), 95% da água presente na carne está fracamente ligada e há possibilidade de migração entre as estruturas e solutos intracelulares. Para água intracelular há importante papel de retenção física do sarcolema (membrana citoplasmática do miócito). Em média, 5% da água da carne são denominadas por água de constituição, a qual é permanentemente ligada direta ou indiretamente às proteínas (GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013).

A determinação da capacidade de retenção da água na carne apresenta relevância acadêmica e econômica, pois com a exsudação desnecessária não há somente perda de água, mas também de proteínas sarcoplasmáticas, minerais, vitaminas (GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013). Ônus econômicos estão relacionados com perdas de peso durante o armazenamento, transporte e o processamento agroindustrial e doméstico (TRAORE et al., 2012). Alterações na capacidade de retenção de água da carne congelada pode se associar com o rompimento do sarcolema ocasionado por cristais de gelo de maior tamanho (VIEIRA et al., 2009; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012a).

A perda de fluidos por exsudação pode promover a desnaturação proteica e comprometer a capacidade da matriz cárnea de reter água, havendo depreciação da qualidade do produto cárneo (FAROUK, WIELICZKO & MERTS, 2003; XIA et al., 2009; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN, 2012a).

2.4.4. Força de cisalhamento

A maciez é um dos parâmetros mais importantes para a qualidade da carne, pois se associa ao grau de satisfação do consumidor (XIA et al., 2009).

A força de cisalhamento é o parâmetro pelo qual se mensura a maciez da carne e utiliza-se texturômetros para este fim. Com esse método, uma lâmina Warner-Blazler é utilizada para aferir a força necessária para transpassar transversalmente a matriz cárnea (KOBBLITZ, 2011).

A força de cisalhamento pode estar associada à capacidade da carne em reter água. Nesse sentido, carne com maior capacidade de retenção de água tende a apresentar menor força de cisalhamento (WARRIS, 2010; GOMIDE, RAMOS & FONTES, 2013).

2.5. Referências bibliográficas

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas.html>>. Acesso em: 13 jul. 2014.

AMSA. American Meat Science Association. **Meat Color Measurement Guidelines**. 2012.

BARBOSA, L.; LOPES, P. S.; REGAZZI, A. J.; GUIMARÃES, S. E. F.; TORRES, R. A.; Avaliação de características de qualidade da carne de suínos por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p.1639-1645, 2006.

BERTRAM, H. C.; ANDERSEN, R. H.; ANDERSEN, H. J. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. **Meat Science**, v. 75 p. 128-133, 2007.

BONAGURIO, S.; PÉREZ, J. R. O.; GARCIA, I. F. F.; BRESSAN, M. C.; LEMOS, A. L. S. C. Qualidade da carne de cordeiros santa inês puros e mestiços com texel abatidos com diferentes pesos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p.1981-1991, 2003.

CULAU, P. O. V.; LOPÉZ, J.; RUBENSAM, J. M.; LOPES, R. F. F.; NICOLAIEWSKY, S. A contribuição do gene halotano sobre as características de qualidade da carne suína. **Ciência Rural**, v. 32, n.1, p. 115-119, 2002a.

CULAU, P. O. V.; LOPÉZ, J.; RUBENSAM, J. M.; LOPES, R. F. F.; NICOLAIEWSKY, S. Influência do gene halotano sobre a qualidade da carne suína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 954-961, 2002b.

EVAGELISTA, J. Conservação de alimentos. In: **Tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008. Cap.9, p. 370-389.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat3.fao.org/browse/FB/CL/E>. Acesso em: 20 mai. 2015.

FAROUK, M. M.; WIELICZKO, K. J.; MERTS, I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. **Meat Science**, v. 66, p. 171-179, 2003.

FAROUK, M. M.; KEMP, R. M.; CARTWRIGHT, S.; NORTH, M. The initial freezing point temperature of beef rises with the rise in pH: A short communication. **Meat Science**, v. 94, p. 21-24, 2013.

FELLOWS, P. J. Congelamento. In: **Tecnologia do processamento de alimentos princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artemed, 2006. cap. 21, p. 429-451.

FERNÁNDEZ, P. P.; SANZ, P. D.; MOLINA-GARCÍA, A. D.; OTERO, L.; GUIGNON, B.; VAUDAGNA, S. R. Conventional freezing plus high pressure–low temperature treatment: Physical properties, microbial quality and storage stability of beef meat. **Meat Science**, v. 77, p. 616–625, 2007.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. A carne com alimento; Propriedades da carne fresca. In: **Ciência e qualidade da carne: fundamentos**. Viçosa, Editora UFV, 2013. cap. 1 p. 11-56; cap. 5, p. 155-183.

GUÀRDIA, M. D.; ESTANY, J. BALASCH, S.; OLIVER, M. A.; GISPERT, M.; DIESTRE, A. Risk assessment of DFD meat due to pré-slaughter conditions in pigs. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 709-716, 2005.

HAMOEN, J. R.; VOLLEBREGT, H. M.; VAN DER SMAN, R. G. M. Prediction of the time evolution of pH in meat. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2363–2372, 2013.

KIM, G. D.; JUNG, E. Y.; LIM, H. J.; YANG, H. S.; JOO, S. T.; JEONG, J. Y. Influence of meat exudates on the quality characteristics of fresh and freeze-thawed pork. **Meat Science**, v. 95, p. 323–329, 2013.

KOBLITZ, M. G. B. Carnes. In: **Matéria-prima alimentícia: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. cap. 6, p. 187-226.

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L .C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, p. 93–98, 2012a.

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L .C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. **Meat Science**, v. 91, p. 364-368, 2012b.

MACEDO, R. E. F.; ROSSA, L. S.; NUNES, L. C. A. S.; BIASI, R. S.; GOMES, C.; GALEB, L. A. G.; PETER GABERZ KIRSCHNIK, P. G. Atmosferas modificadas para conservação de carnes frescas: tendências e aplicabilidade tecnológica do monóxido de carbono. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 4, p. 469-482, 2009.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, p. 100-121, 2005.

MARTINO, M. N.; OTERO, L.; SANZ, P. D.; ZARITZKY, N. E. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. **Meat Science**, v. 50, n. 3, p. 303-313, 1998.

MORGADO, E. S.; SOBRINHO, A. G. S.; ZEOLA, N. M. B. L.; SILVA, W. L. TAMELE, O.; SOUZA, H. B. A. Influência do tipo de embalagem e tempo de armazenamento sobre os parâmetros qualitativos da carne ovina. **Scientia Plena**, v. 7, n. 10, 2011.

MUELA, E.; SAÑUDO, C.; CAMPO, M. M.; MEDEL, I.; BELTRÁN, J. A. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. **Meat Science**, v. 84, p. 662-669, 2010.

MUELA, E.; SAÑUDO, C.; CAMPO, M. M.; MEDEL, I.; BELTRÁN, J. A. Effect of freezing method and frozen storage duration on Lamb sensory quality. **Meat Science**, v. 90 p. 209-215, 2012.

NGAPO, T. M.; BABARE, I. H.; REYNOLDS, J.; MAWSON, R. F. Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork. **Meat Science**, v. 53, p. 159-168, 1999.

O'NEILL, D. J.; LYNCH, P. B.; TROY, D. J.; BUCKLEY, D. J.; KERRY, J. P. Influence of the time of year on the incidence of PSE and DFD in Irish pigmeat. **Meat Science**, v. 64, p. 105-111, 2003.

ORDÓÑEZ, P. J. A.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. Características sensoriais da carne; Conservação da carne mediante a aplicação do frio. In: **Tecnologia de alimentos**. 2. v. Tradução Fátima Murad. Porto Alegre: Artemed, 2005. cap. 8, p. 145-172; cap. 9, p 173-186.

OSÓRIO, J. C. S.; OSÓRIO, M. T.; SAÑUDO, C. Características sensoriais da carne ovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 292-300, 2009.

PIETRASIK, Z.; JANZ, J. A. M. Influence of freezing and thawing on the hydration characteristics, quality, and consumer acceptance of whole muscle beef injected with solutions of salt and phosphate. **Meat Science**, v. 81, p. 523-532, 2009.

PIRES, I. S. C.; ROSADO, G. P.; AZEREDO, R. M. C.; NEVES, M. B.; MIRANDA, L. S. Composição centesimal, perdas de peso e maciez de lombo (longissimus dorsi) suíno submetido a diferentes tratamentos de congelamento e descongelamento. **Revista de Nutrição**, v. 15(2), p. 163-172, mai./ago., 2002.

SANTANA, A. P.; MURATA, L. S.; MCMANUS, C. P.; BERNAL, F. E. M. Dosagem de cortisol sanguíneo em suínos submetidos ao manejo pré-abate e insensibilização elétrica. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 221, p. 149-152, 2009.

SOYER, A.; OZALP, B.; DALMIS, U.; BILGIN, V. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. **Food Chemistry**, v. 120, p. 1025–1030, 2010.

TEIXEIRA, A. & RODRIGUES, S. Pork meat quality of preto alentejano and commercial largewhite landrace cross. **Journal Of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, p.1961-1971, 2013.

TRAORE, S.; AUBRY, L.; GATELLIER, P.; PRZYBYLSKI, W.; JAWORSKA, D.; KAJAK-SIEMASZKO, K.; SANTÉ-LHOUELIER, V. Higher drip loss is associated with protein oxidation. **Meat Science**, v. 90, p. 917-924, 2012.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. NATIONAL NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE RELEASE 27.
<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2574?fg=&man=&lfacet=&count=&max=35&sort=&qlookup=pork&offset=&format=Full&new=&measureby=>. Acesso em: 20 mai. 2015.

VENTURINI, A. C.; CONTRERAS-CASTILLO, C. J.; FARIA, J. A. F. Revisão: sistema de embalagem para carne bovina fresca em atmosfera modificada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 128-137, 2009.

VIEIRA, C.; DIAZ, M. T.; MARTINEZ, B.; GARCIA-CACHAN, M. D. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. **Meat Science**, v. 83, p. 398-404, 2009.

WARRISS, P.D. **Meat science. An introductory text.** . 2.ed. 2010.

XIA, X.; KONG, B.; LIU, Q.; LIU, J. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. **Meat Science**, v. 83, p. 239-245, 2009.

ZHU, S.; LE BAIL, A.; RAMASWAMY, H. S.; CHAPLEAU, N. Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 4, 2004.

3. ARTIGO

3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOMBO SUÍNO SUBMETIDO À DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONGELAMENTO

RESUMO

Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de se avaliar as características de qualidade do lombo suíno submetido a diferentes condições de congelamento. Porções de 500 gramas, obtidas da desossa do músculo *longissimus thoracis et lumborum* foram embaladas à vácuo e submetidas ao congelamento convencional (-18°C) e ao ultracongelamento (-30°C , -40°C , -50°C , -60°C e -70°C). O congelamento foi realizado pelo período de 24 horas. Posteriormente a este período de congelamento, as porções foram estocadas (-18°C) pelos tempos de 1, 30, 60, 90 e 120 dias. Foram determinados: perda de peso por descongelamento; pH; cor ($L^*a^*b^*$, C, H°); capacidade de retenção de água; perda de peso por cozimento; força de cisalhamento; umidade; massa seca; proteína; gordura; e resíduo mineral fixo. Estas análises foram realizadas no lombo congelado e no lombo resfriado (4°C) não congelado. Não houve efeito significativo das temperaturas de congelamento e dos tempos de armazenamento no pH, na luminosidade (L^*), no teor de vermelho (a^*), no croma (C), na capacidade de retenção de água, na força de cisalhamento e na composição química do lombo suíno. Estas características foram semelhantes às aquelas observadas no lombo resfriado. A perda de peso por descongelamento, o teor de amarelo (b^*), o matiz (H°) e a perda de peso por cozimento não foram influenciados pelas diferentes temperaturas de ultracongelamento, mas foram influenciados pelos tempos de estocagem. A perda de peso por descongelamento e a perda de peso por cozimento foi maior no lombo congelado à -18°C do que no lombo congelado à -30°C . Para se reduzir as perdas de peso por descongelamento se recomenda o congelamento do lombo suíno a -30°C .

Palavras-chave: congelamento convencional, perda de peso por cozimento, perda de peso por descongelamento, ultracongelamento.

ABSTRACT

This research was conducted with the objective of evaluating the quality characteristics of pork loin under different conditions from freezing. Portions of 500 grams, obtained from the *longissimus thoracis et lumborum* muscle et been vacuum packed and subjected to conventional freeze ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) and deep freezing ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Freezing was performed by 24 hour period. Subsequent to this period of freezing, the portions were stored ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) for times of 1, 30, 60, 90 and 120 days. Were determined: weight loss thawing, pH, color (L^* a^* b^* , C, H°), water holding capacity, cooking weight loss, shear force; humidity, dry matter, protein, fat, and ash. These analyzes were performed on frozen loin and refrigerated loin ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$). There was no significant effect of freezing temperatures and storage times in pH, lightness (L^*), red content (a^*), chroma (C), water retention capacity, shear force, the chemical composition of pork loin. These characteristics were similar to those observed in the refrigerated loin. The weight loss for thawing, the yellow content (b^*), hue (H°) and cooking weight loss were not influenced by the different temperatures of deep freezing, but were influenced by storage time. Weight loss by thawing and cooking weight loss was greater in the fillet frozen to $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ than the fillet frozen to at $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. To reduce the weight loss for thawing is recommended to freeze the pork loin at $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: conventional freezing, cooking weight loss, weight loss for thawing, ultrafreezing

INTRODUÇÃO

A carne suína é uma das mais produzidas, processadas e consumidas do mundo (TEIXEIRA & RODRIGUES, 2013). Entretanto, as principais regiões produtoras desta carne nem sempre coincidem geograficamente com importantes centros consumidores. Esta é a realidade da cadeia produtiva da carne suína no Brasil, tendo-se em vista que os maiores produtores estão instalados nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Minas Gerais e São Paulo e os clientes para a carne podem estar em estados distantes, como os do norte e do nordeste e em países como Rússia, Hong Kong, Japão e países da União Européia. Por esta razão, intervenções tecnológicas devem ser aplicadas à matriz cárnea para se estender a vida útil de seus constituintes, havendo, assim, maior tempo para a distribuição, comercialização e consumo.

O congelamento é um dos principais métodos de conservação da carne, pois contribui para que sejam preservadas muitas características observáveis na carne fresca (XIA et al., 2009; VIEIRA et al., 2009; SOYER et al., 2010; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN 2012a; MUELA, 2012). Este contexto se torna mais evidente quando a carne congelada é comparada aquela obtida por outros métodos de conservação, como a salga, a cura, a dessecação e a defumação. O congelamento, além de menor quantidade de operações unitárias, também não introduz componentes químicos como sódio, nitrito e nitrato de sódio e potássio, cujo consumo sempre é questionado.

Com a redução da temperatura se reduz a taxa de reações enzimáticas, devido à redução da energia cinética das moléculas. Desta forma, a atividade de enzimas autolíticas endógenas, associadas ao processo natural de decomposição da carne, é bastante reduzida. Entretanto, tais reações não são completamente anuladas e, portanto, a vida útil da carne congelada não é indefinida (SOYER et al., 2010). A redução da taxa de reações enzimáticas também interfere no desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deterioradores que, porventura, contaminem a carne. Considera-se, assim, que o frio tem efeito bacteriostático.

Apesar dos benefícios mencionados, caso o congelamento seja inapropriadamente executado pode haver alterações em características associadas à qualidade e à aptidão tecnológica da carne, principalmente na decorrência da formação de cristais de gelo de maiores dimensões (MARTINO et al., 1998; NGAPO et al., 1999b; MUELA et al., 2010; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN 2012a). Grandes cristais podem danificar o sarcolema dos miócitos causando exsudação de fluidos sarcoplasmáticos durante o descongelamento e preparo da carne (FERNÁNDEZ et al., 2007; LEYGONIE, BRITZ & HOFFMAN 2012a). A

exsudação, dependendo da intensidade que ocorra, pode alterar o pH, a acidez, a cor, a luminosidade, a capacidade de retenção de água, a perda de peso por descongelamento, a perda de peso por cozimento e a força de cisalhamento (COSTA et al., 2002; OSÓRIO et al., 2009; VENTURINI et al., 2009). Ngapo et al. (1999b) e Leygonie, Britz & Hoffman (2012ab) relataram que com o congelamento da água do sarcoplasma, há concentração de solutos, fato que pode ocasionar a desnaturação de proteínas intracelulares, as quais relevantes para reter a água dentro do miócito.

Além destas questões, deve-se considerar que o congelamento da carne pode ser dispendioso, pois requer investimentos em instalações, equipamentos, condições especiais de transporte, colaboradores qualificados e energia para a geração do frio artificial. Sendo assim, a realização de pesquisas sobre o congelamento da carne, em diferentes métodos, pode contribuir na busca por processos eficientes e com menor custo.

Considerando-se o exposto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de se avaliar características da carne suína submetida a diferentes métodos de congelamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução desta pesquisa foram utilizados lombos suínos (*longissimus thoracis et lumborum*) provenientes de carcaças de machos de linhagem comercial, abatidos com peso corporal médio de 100 kg, em frigorífico inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Brasil. As porções de lombo, com aproximadamente 500 gramas cada, foram aleatoriamente coletadas a partir da desossa de 180 carcaças resfriadas ($0^{\circ}\text{C}\pm 1$) no tempo de 24 horas após o abate. Após a coleta as porções de lombo foram embaladas em sacos de polietileno, com uso de vácuo.

Os lombos foram submetidos ao congelamento convencional, em temperatura de -18°C , utilizando-se um congelador doméstico vertical e ao ultracongelamento nas temperaturas de -30°C , -40°C , -50°C , -60°C e -70°C , utilizando-se ultrafreezer. O princípio de congelamento se baseou na troca de calor por ar estático e por placas. Os lombos foram mantidos nestas condições de congelamento por 24 horas. Posteriormente a este tempo, os lombos foram transferidos para congeladores, nos quais foram armazenados em temperatura de -18°C pelos tempos de 30, 60, 90 e 120 dias para a realização das análises de interesse. Análises também foram realizadas no lombo após 24 horas do início do período de armazenamento (tempo inicial) e no lombo fresco resfriado e não submetido ao congelamento.

Para a realização das análises os lombos foram descongelados em câmara fria a 4°C e desembalados.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, com seis temperaturas de congelamento, com cinco tempos de armazenamento e com cinco repetições.

A perda de peso por descongelamento, expressa em percentual, foi calculada pela diferença de peso entre o lombo fresco resfriado, o qual pesado antes de ser embalado, e o peso do mesmo lombo após ser congelado, descongelado e desembalado.

O pH foi mensurado com pHmetro digital (MS Tecnocon, modelo mPA-210) acoplado com sonda de penetração.

Análises colorimétricas foram realizadas utilizando-se colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japão), empregando iluminante D65 e geometria 45/0. Os valores de cor foram expressos no sistema CIELAB. Luminosidade (L^*), componente vermelho (a^*) e componente amarelo (b^*) foram diretamente mensurados na superfície dos lombos descongelados e desembalados, após 30 minutos de contato com o ar. Calculou-se o croma

(C) pela equação: $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, sendo a^* o componente vermelho e b^* o componente amarelo, admitindo-se que quanto maior o croma, mais intensa a cor ou maior a saturação (KONICA MINOLTA SENSING, 2007; AMSA, 2012). O matiz, ou tonalidade cromática, foi calculado pela equação do ângulo Hue (H°): $H^\circ = \tan^{-1} b^*/a^*$, sendo a^* o componente vermelho e b^* o componente amarelo. Os dados foram interpretados no quadrante angular no qual: $H^\circ = 0$ representa o vermelho puro; $H^\circ = 90$ representa o amarelo puro; $H^\circ = 180$ representa o verde puro; e $H^\circ = 270$ representa o azul puro (KONICA MINOLTA SENSING, 2007; AMSA, 2012).

Para a determinação da capacidade de retenção de água foram seccionadas amostras de, aproximadamente, 0,5g dos lombos descongelados, as quais foram dispostas entre duas folhas de papel filtro e estas entre duas placas de vidro ($12 \times 12 \times 1$ cm). Aplicou-se, neste conjunto, peso de 10 kg por 5 minutos (YANCEY, WHARTON & APPLE, 2011). A capacidade de retenção de água foi calculada pela diferença de peso, a qual expressa em percentual.

Para a determinação da perda de peso por cozimento foram seccionadas amostras de, aproximadamente, 100 gramas dos lombos descongelados. As amostras foram embaladas em folha metalizada, com a face de maior brilho voltada para o interior do embrulho, e dispostas em chapa de aquecimento de dupla face regulado para a temperatura de 180°C e pré-aquecido. O aquecimento foi monitorado com termômetro tipo agulha, sendo as amostras retiradas do equipamento quando a temperatura no centro geométrico do corte atingiu 72°C . As amostras foram removidas da embalagem e resfriadas em condições ambientes, sendo posteriormente pesadas. A perda de peso por cozimento foi calculada pela diferença entre o peso dos lombos crus e dos lombos após o cozimento, sendo expressa em percentual (BARGE et al., 1991).

A força de cisalhamento foi determinada por texturômetro (Stable Micro System, modelo TA.XT2 *plus*®) acoplado com sonda de cisalhamento retangular padrão Warner-Bratzler, com espessura de 1,016mm e com lâmina de 3,05mm. Os dados (picos positivos máximos) foram obtidos empregando-se o programa Exponent Lite versão 5.1 (Stable Micro Systems). O equipamento foi calibrado com peso-padrão de 5kg, sendo programado com velocidade de descida e corte do dispositivo de $200 \text{ mm} \cdot \text{minuto}^{-1}$, velocidade de pré-teste, de teste, de pós-teste de $2 \text{ mm} \cdot \text{segundo}^{-1}$ e distância de penetração de 15 mm. Para essa análise foram utilizadas amostras remanescentes da análise da perda de peso por cozimento, as quais foram resfriadas (4°C) por 24 horas, e assim mantidas até o momento das análises. Oito cilindros de 1,27cm de diâmetro foram removidos das porções no sentido paralelo das fibras

musculares e dispostos no equipamento com as fibras orientadas no sentido perpendicular à lâmina. Os resultados foram expressos kgf/cm² (AMSA, 1995).

Teores de umidade, massa seca, resíduo mineral fixo, proteína e gordura foram quantificados conforme métodos proposta pelo Instituto Adolf Lutz (2008).

Os dados do lombo suíno submetidos a diferentes temperaturas de ultracongelamento (-30°C, -40°C, -50°C, -60°C e -70°C) e a diferentes tempos de armazenamento (tempo inicial e 30, 60, 90 e 120 dias) foram submetidos à análise de variância e análise de regressão, utilizando-se o programa Statistical Analysis System (SAS, 2002).

As médias das análises dos lombos submetidos ao ultracongelamento, ao congelamento convencional (-18°C) e o lombo fresco resfriado (4°C) foram comparadas por meio de contraste ortogonal com teste de Tukey em nível de 5% significância, utilizando-se o programa Statistical Analysis System (SAS, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação ($P \geq 0,05$) entre as temperaturas de congelamento e os períodos de armazenamento avaliados.

Não houve efeito ($P \geq 0,05$) das temperaturas de ultracongelamento e dos diferentes tempos de armazenamento do lombo suíno no pH ($5,38 \pm 0,12$), na luminosidade ($L^* = 51,08 \pm 1,55$), no teor de vermelho ($a^* = 6,59 \pm 0,78$), no croma ($36,58 \pm 0,87$), na capacidade de retenção de água ($55,77 \% \pm 2,11$) e na força de cisalhamento ($6,85 \text{ kfg/cm}^2 \pm 2,13$). Os valores de pH estiveram de acordo com o desejado para a carne suína, sendo superiores ao ponto isoelétrico da maioria das proteínas miofibrilares (pI ~pH ~52), no qual há possibilidade de ocorrência da carne pálida, de consistência flácida e exsudativa (PSE: pH $\leq 5,2$) e sendo também inferiores aos valores no qual há possibilidade de ocorrência da carne escura, seca e dura (DFD: pH $> 5,7$).

A perda de peso por descongelamento, o teor de amarelo (b^*), o matiz (H°) e a perda de peso por cozimento também não foram influenciados ($P \geq 0,05$) pelas temperaturas de ultracongelamento, mas sim pelos diferentes tempos de armazenamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Características do lombo suíno submetido ao ultracongelamento.

Parâmetro	Tempo (dia)	Ultracongelamento (°C)					CV(%)	R ²	Regressão	
		- 30	- 40	- 50	-60	- 70				
PD (%)	1	3,97	5,17	3,32	2,85	2,29	12,7	74,2	PD	=
	30	2,23	2,82	4,06	6,40	6,11				
	60	9,73	7,82	6,78	8,47	8,67				
	90	6,09	7,65	2,62	6,02	5,64				
	120	9,36	8,55	7,55	7,95	8,64				
b^*	1	2,16	2,72	1,67	3,44	1,67	22,3	78,4	b^*	=
	30	1,96	2,46	1,54	2,04	1,79				
	60	3,67	2,89	2,34	3,15	2,83				
	90	2,55	3,00	3,76	2,82	2,30				
	120	5,1	4,40	4,36	3,99	3,81				
Matiz (H°)	1	16,40	20,35	16,81	27,82	15,17	14,3	75,8	H°	=
	30	14,82	20,73	19,25	17,69	15,03				
	60	27,60	22,32	21,17	26,87	16,68				
	90	21,72	24,56	28,92	22,15	13,53				
	120	43,68	29,66	33,30	29,17	44,35				
PPC (%)	1	32,41	33,12	35,41	34,58	35,61	6,36	70,1	PPC	=
	30	25,33	27,28	32,00	34,49	34,59				
	60	26,73	26,19	27,11	24,93	31,81				
	90	27,57	24,20	24,57	27,27	31,86				
	120	32,32	30,80	32,83	31,06	29,21				

PD: perda de peso por descongelamento. b^* : teor de amarelo. CRA: capacidade de retenção de água. PPC: perda de peso por cozimento. CV: coeficiente de variação. R²: coeficiente de determinação.

Tendo-se em vista que não houve variação nas características pesquisadas no lombo suíno nas diferentes temperaturas de ultracongelamento selecionou-se a maior temperatura (-30°C) para compará-la com outras condições (Tabela 2). Comparando-se as características do lombo suíno resfriado (4°C), com o lombo suíno submetido ao congelamento convencional (-18°C) e com o lombo suíno ultracongelado (-30°C) não foram verificadas diferenças ($P \geq 0,05$) para o pH ($5,41 \pm 0,14$), luminosidade ($L^* = 51,38 \pm 1,65$), teor de vermelho ($a^* = 6,91 \pm 0,79$), teor de amarelo ($b^* = 3,26 \pm 1,16$), croma ($7,84 \pm 0,81$), matiz ($H^{\circ} = 26,97 \pm 8,89$), capacidade de retenção de água ($58,62\% \pm 3,41$) e força de cisalhamento ($5,92 \text{ kgf/cm}^2 \pm 0,77$).

Tabela 2 - Características do lombo suíno resfriado e congelado

Parâmetro	Tempo (dias)	4°C	Congelamento		CV (%)
			-18°C	-30°C	
PD (%)	1	–	5,23 ^a	3,97 ^b	19,15
	30		4,04 ^a	2,23 ^b	
	60		8,24 ^a	9,73 ^a	
	90		6,39 ^a	6,09 ^a	
	120		10,07 ^a	9,36 ^a	
PPC (%)	1	26,13 ^b	28,82 ^b	27,41 ^b	5,38
	30		28,38 ^b	25,33 ^b	
	60		32,08 ^a	26,73 ^b	
	90		33,37 ^a	27,57 ^b	
	120		36,18 ^a	32,32 ^a	

4°C : lombo suíno resfriado. -18°C : lombo suíno congelado em congelador doméstico. -30°C : lombo suíno submetido ao ultracongelamento. PD: perda de por descongelamento. PPC: perda de peso por cocção. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras minúsculas nas linhas (carne resfriada e métodos de congelamento) se diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Não foi constatado efeito ($P \geq 0,05$) de tempo e de temperaturas de ultracongelamento na composição química do lombo suíno (Tabela 3). Não foram verificadas, também, diferenças ($P \geq 0,05$) entre a composição química do lombo resfriado, do lombo submetido ao congelamento convencional e do lombo ultracongelado. A composição química da carne observada neste estudo é semelhante àquela observada por Ramirez & Cava (2007), Pinheiro et al. (2013) e Teixeira & Rodrigues (2013).

Tabela 3 – Composição química do lombo suíno resfriado e congelado.

Constituinte ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$)	Tempo (dias)	4°C	-18°C	Ultracongelamento ($^{\circ}\text{C}$)					CV (%)
				-30	-40	-50	-60	-70	
Umidade	1	72,7	71,9	71,3	72,3	72,3	70,2	72,6	1,9
	30		72,4	72,7	73,1	72,7	73,4	73,5	
	60		72,1	68,1	68,8	72,2	71,7	71,2	
	90		70,4	70,1	68,3	72,3	71,4	72,3	
	120		71,6	70,2	71,3	70,4	71,6	69,7	
Massa seca	1	27,3	28,4	28,7	27,7	27,7	29,8	27,4	4,7

	30		27,7	27,3	26,9	27,4	26,4	26,4	
	60		27,9	31,9	31,2	27,8	28,3	28,8	
	90		29,6	29,9	31,7	27,8	28,6	27,7	
	120		28,4	29,8	28,8	29,6	28,4	30,3	
Proteína	1	24,6	25,0	24,4	25,3	25,7	25,2	24,8	4,3
	30		22,4	24,9	24,6	23,4	24,1	22,9	
	60		23,9	24,7	23,5	22,9	22,8	23,8	
	90		24,1	24,5	24,9	23,7	23,4	24,3	
	120		23,9	23,7	22,9	23,7	23,8	23,9	
Gordura	1	2,2	2,4	2,1	2,1	1,2	1,7	2,2	12,9
	30		2,6	2,9	2,1	1,4	1,2	0,8	
	60		3,1	2,6	2,1	2,7	2,6	2,6	
	90		3,2	2,2	2,9	2,1	3,0	1,1	
	120		2,7	2,1	2,5	2,3	1,9	1,2	
RMF	1	1,3	1,2	1,3	1,2	1,9	1,2	1,3	13,2
	30		1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,3	
	60		1,7	1,3	1,6	1,3	1,3	1,2	
	90		1,1	1,2	1,3	1,5	1,3	1,3	
	120		1,2	1,5	1,4	1,7	1,3	1,4	

4°C: lombo suíno resfriado. – 18°C: lombo suíno congelado em congelador doméstico. RMF: resíduo mineral fixo.

Há o conceito clássico de que o método de congelamento influencia nas características de qualidade da carne, principalmente devido a natureza dos cristais de gelo que são formados no sarcoplasma e pela possibilidade de desnaturação das proteínas miofibrilares devido há modificações no pH do sarcoplasma. Portanto, tem sido recomendado que a carne seja submetida a métodos que proporcionem congelamento rápido para se restringir a formação de cristais de gelo de maiores diâmetros, os quais têm maior potencial para modificar as características da carne. Nestas condições, com maior velocidade de congelamento, o sarcoplasma se torna mais denso de forma mais rápida, o que reduz a mobilidade dos cristais de gelo no sentido de formar estruturas menores e com menor estado de energia. Admite-se que com o congelamento rápido há maior quantidade de cristais de gelo, mas de menor tamanho e menor possibilidade de danificar o sarcolema (MARTINO et al., 1998; KOBLITZ, 2011). Para que se realize o congelamento rápido da carne há necessidade de equipamentos robustos, além de maior demanda por energia para a geração do frio artificial, tendo-se em vista que devem ser utilizadas temperaturas menores do que aquelas observadas no congelamento convencional.

Conforme relatado na literatura, os principais parâmetros de qualidade da carne que podem ser influenciados pela forma com a qual se procede ao congelamento são o pH, a perda de peso por descongelamento, a capacidade de retenção de água, a perda de peso por cozimento, a força de cisalhamento e a suculência. Portanto, além dos prejuízos de ordem econômica, a carne pode apresentar alterações suficientes para influenciar a sua aceitação pelo

cliente (NGAPO et al., 1999a; ORDÓÑEZ, 2005; FERNÁNDEZ et al., 2007; KOBLITZ, 2011; MUELA et al., 2012).

Neste estudo, no entanto, não foram observadas variações significativas em características de qualidade do lombo suíno fracionado em porções, com aproximadamente 500 gramas, em função das temperaturas de ultracongelamento utilizadas, sendo observadas variações na qualidade da carne com o decorrer do período de armazenamento.

Independente de qual tenha sido a temperatura de ultracongelamento, verificou-se considerável aumento na perda de peso por descongelamento do lombo com o passar do tempo de armazenamento, atingindo valores de, aproximadamente, 8% de perdas aos 120 dias ($PD\% = 5,5866 + 0,07621 \times \text{tempo}$; $R^2 = 0,77$ e $CV = 11,5\%$). Estas perdas são relevantes tanto à qualidade da carne, bem como para o rendimento deste processo.

O aumento na perda de peso por descongelamento, com o passar do tempo, pode ser ocasionada pelo processo denominado por recristalização, no qual há reunião de cristais de gelo de menores diâmetros e a formação de cristais com maior diâmetro, os quais podem danificar o sarcolema e ocasionar exsudação durante o descongelamento. A desnaturação das proteínas miofibrilares durante o descongelamento, as quais são as principais estruturas envolvidas na retenção de água no miócito, também pode ser causa para o aumento na perda de peso por descongelamento.

Assim como observado para a carne submetida ao ultracongelamento, também houve aumento na perda de peso por descongelamento do lombo suíno submetido ao congelamento convencional a -18°C ($PD\% = PD\% = 6,6463 + 0,08214 \times \text{tempo}$; $R^2 = 0,77$ e $CV = 11,5\%$).

A perda de peso por descongelamento foi menor ($P < 0,05$) no lombo congelado a -30°C do que no lombo congelado a -18°C no primeiro dia e no trigésimo dia. Nos tempos 60, 90 e 120 dias a perda de peso por descongelamento foi semelhante ($P \geq 0,05$) em ambas as temperaturas. Sugere-se, assim, que os benefícios do congelamento rápido em se reduzir as perdas por descongelamento sejam efetivos em tempos menores de armazenamento e que, passado um período, eventos como a recristalização e a desnaturação proteica possam neutralizar o efeito desejável.

Ngapo et al. (1999a), Farouk, Wieliczko & Merts (2003), Fernández et al. (2007) e Kim et al. (2013) também verificaram efeitos do tempo de congelamento na perda de peso por descongelamento da carne. Martino et al. (1998), Ordóñez (2005) e Koblitz (2011) relatam maiores perdas por descongelamento para carnes submetidas ao congelamento convencional. Pires et al. (2002) não observaram diferença significativa na perda por descongelamento para os diferentes períodos de estocagem.

Mesmo havendo considerável aumento na perda de peso por descongelamento não foram verificadas variações ($P \geq 0,05$) na capacidade de retenção de água da carne ao longo do tempo de armazenamento do lombo submetido ao ultracongelamento. As variações na perda de peso por cozimento na carne ultracongelada, ao longo do tempo, não apresentaram um comportamento linear, mas sim quadrático ($PPC\% = 34,07033 + 0,16961 \times \text{tempo} - 0,00182 \times \text{tempo}^2$; $R^2 = 0,81$ e $CV = 6,36\%$). Entretanto, mesmo havendo esta variação, as médias para a perda de peso por cozimento observadas neste estudo podem ser consideradas normais para a carne.

A capacidade de retenção de água da carne é influenciada pela polaridade das proteínas, evento este dependente do pH intracelular. Neste estudo não foram observadas variações significativas no pH e também na capacidade de retenção de água, seja em função de temperatura ou de tempo. A capacidade da retenção de água das carnes congeladas foi inclusive semelhante a da carne resfriada. Tal fato sugere então que a perda de peso por descongelamento tenha sido mais relacionada a danos mecânicos no sarcolema do que a mudanças físico-químicas no sarcoplasma.

Ao contrário da capacidade de retenção de água, a perda de peso por cozimento apresentou variações em função do tempo de armazenamento. Ao que tudo indica a perda de peso por cozimento foi maior quanto maior foi também a perda de peso por descongelamento, o que sugere que este parâmetro também tenha seja suscetível aos danos mecânicos no sarcolema.

A perda de peso por cozimento do lombo congelado a -18°C foi maior nos tempos de 60 e 90, quando comparado ao lombo resfriado e ao lombo congelado a -30°C . As perdas de pesos por cozimento foram semelhantes no lombo resfriado e entre os lombos congelados para o tempo de 1 e 30 dias de armazenamento. Aos 120 dias de armazenamento a perda de peso por cozimento foi maior nos lombos congelados do que no lombo resfriado. Embora tenha havido variação na perda de peso por cozimento do lombo os valores observados são considerados satisfatórios. Ao contrário do observado neste estudo, Mortensen et al. (2006) verificaram que a perda de peso por cozimento foi influenciada pela temperatura de congelamento e não pelo tempo.

Ao longo dos tempos de armazenamento foram observadas variações no teor de amarelo ($b^* = 2,25916 - 0,00691 \times \text{tempo} + 0,0002494 \times \text{tempo}^2$; $R^2 = 0,74$ e $CV = 2,23$), as quais proporcionaram variações no matiz ($H^\circ = 20,3746 - 0,23696 \times \text{tempo} + 0,00229 \times \text{tempo}^2$; $R^2 = 0,78$ e $CV = 14,3\%$). Entretanto, estas variações podem ser consideradas

pequenas e provavelmente não seriam percebidas pelo consumidor, tendo-se em vista que não interferiram no teor de vermelho (a^*) e no croma (C).

É interessante observar que o pH, a luminosidade (L^*), o teor de vermelho (a^*), o croma (C), a capacidade de retenção de água e a força de cisalhamento do lombo fracionado em porções de 500 gramas, embalado à vácuo, congelado em diferentes condições, armazenado por diferentes tempos e descongelado não foram influenciados nem pelas condições de congelamento e nem pelo tempo de armazenamento. Consideração semelhante se faz para a composição química. Ressalta-se que estes parâmetros foram semelhantes aqueles observados na carne resfriada. Estes parâmetros são importantes para a qualidade da carne e passíveis de influenciar na sua aceitação por clientes.

Considerando-se os custos do setor produtivo com o congelamento de carnes, principalmente relacionados aos investimentos em equipamentos e a demanda energética para a produção do frio artificial recomenda-se que, para os parâmetros avaliados neste estudo, não se utilize temperaturas inferiores a -30°C tendo em vista que não proporcionaram efeitos significativos. Congelar o lombo suíno a -18°C implica em maiores perdas por descongelamento.

CONCLUSÃO

Para as condições desta pesquisa e conforme os parâmetros de qualidade da carne avaliados conclui-se que não há diferença significativa no pH, na luminosidade (L^*), no teor de vermelho (a^*), no croma (C), na capacidade de retenção de água, na força de cisalhamento e na composição química do lombo suíno (porções: 500 gramas) resfriado (4°C), submetido ao congelamento convencional em congelador doméstico (-18°C) e ao ultracongelamento. Estes parâmetros não são influenciados por tempos de armazenamento, em condições de congelamento (-18°C), pelo tempo de até 120 dias. Dentre as temperaturas de ultracongelamento pesquisadas recomenda-se -30°C.

Variações dentre o congelamento convencional (-18°C) e ultracongelamento (-30°C) são principalmente observadas em questões de rendimentos, tendo-se em vista que o lombo suíno submetido ao congelamento convencional apresentou maior perda de peso por descongelamento e maior perda de peso por cozimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFVJM, CAPES, FAPEMIG, CNPq e FINEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION - AMSA. Research guidelines for cookery sensory and instrumental tenderness measurement of fresh meat. Chicago, 1995.

AMSA. American Meat Science Association. **Meat Color Measurement Guidelines**. 2012.

BARGE, M.T.; DESTEFANIS, G.; TOSCANO, G.P.; BRUGIAPAGLIA, A. Two Reading techniques of the filter paper press method for measuring meat water-holding capacity. **Meat Science**, v.29, n.2, p.183-189, 1991.

COSTA, E. C.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L.; PEROTTONI, J.; FATURI, C.; MENEZES, L. F. G. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo *Longissimus dorsi* de novilhos red angus superprecoces, terminados em confinamento e abatidos com diferentes pesos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 31, n. 1, p. 417-428, 2002.

FAROUK, M. M.; WIELICZKO, K. J.; MERTS, I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. **Meat Science**, v. 66, p. 171-179, 2003.

FERNÁNDEZ, P. P.; SANZ, P. D.; MOLINA-GARCÍA, A. D.; OTERO, L.; GUIGNON, B.; VAUDAGNA, S. R. Conventional freezing plus high pressure–low temperature treatment: Physical properties, microbial quality and storage stability of beef meat. **Meat Science**, v. 77, p. 616–625, 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. cap. IV – Procedimento e determinações gerais. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/index.php?option=com_remository&Itemid=20&func=startdown&id=5 Acesso em: 10 jul. 2014.

KIM, G. D.; JUNG, E. Y.; LIM, H. J.; YANG, H. S.; JOO, S. T.; JEONG, J. Y. Influence of meat exudates on the quality characteristics of fresh and freeze-thawed pork. **Meat Science**, v. 95, p. 323–329, 2013.

KOBLITZ, M. G. B. Carnes. In: **Matéria-prima alimentícia: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. cap. 6, p. 187-226.

KONICA MINOLTA SENSING. Precise color communication: color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing Incorporated, 2007.

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, p. 93–98, 2012a.

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. **Meat Science**, v. 91, p. 364-368, 2012b.

MARTINO, M. N.; OTERO, L.; SANZ, P. D.; ZARITZKY, N. E. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. **Meat Science**, v. 50, n. 3, p. 303-313, 1998.

MORTENSEN, M.; ANDERSEN, H. J.; ENGELSEN, S. B.; BERTRAM, H. C. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. **Meat Science**, v. 72, p. 34–42, 2006.

MUELA, E.; SAÑUDO, C.; CAMPO, M. M.; MEDEL, I.; BELTRÁN, J. A. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. **Meat Science**, v. 84, p. 662-669, 2010.

MUELA, E.; SAÑUDO, C.; CAMPO, M. M.; MEDEL, I.; BELTRÁN, J. A. Effect of freezing method and frozen storage duration on Lamb sensory quality. **Meat Science**, v. 90 p. 209–215, 2012.

NGAPO, T. M.; BABARE, I. H.; REYNOLDS, J.; MAWSON, R. F. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. **Meat Science**, v. 53, p. 149-158, 1999a.

NGAPO, T. M.; BABARE, I. H.; REYNOLDS, J.; MAWSON, R. F. Freezing rate and frozen storage effects on the ultrastructure of samples of pork. **Meat Science**, v. 53, p. 159-168, 1999b.

ORDÓÑEZ, P. J. A.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. Características sensoriais da carne; Conservação da carne mediante a aplicação do frio. In: **Tecnologia de alimentos**. 2. v. Tradução Fátima Murad. Porto Alegre: Artemed, 2005. cap. 8, p. 145-172; cap. 9, p 173-186.

OSÓRIO, J. C. S.; OSÓRIO, M. T.; SAÑUDO, C. Características sensoriais da carne ovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 292-300, jul. 2009.

PINHEIRO, R. E. E.; CARDOSO, E. C.; KLEIN JÚNIOR, M. H.; MURATORI, M. C. S.; LOPES, J. B.; FARIAS, L. A.; TEIXEIRA, M. P. F. Qualidade da carne de suínos mestiços comerciais e sem raça definida criados em regime intensivo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.1, p.149-160 jan./mar., 2013.

PIRES, I. S. C.; ROSADO, G. P.; AZEREDO, R. M. C.; NEVES, M. B.; MIRANDA, L. S. Composição centesimal, perdas de peso e maciez de lombo (longissimus dorsi) suíno submetido a diferentes tratamentos de congelamento e descongelamento. **Revista de Nutrição**, v. 15(2), p. 163-172, mai./ago., 2002.

RAMÍREZ, R.; CAVA, R. Carcass composition and meat quality of three different Iberian x Duroc genotype pigs. **Meat Science**, v, 75, p. 388–396, 2007.

SOYER, A.; OZALP, B.; DALMIS, U.; BILGIN, V. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. **Food Chemistry**, v. 120, p. 1025–1030, 2010.

TEIXEIRA, A. & RODRIGUES, S. Pork meat quality of preto alentejano and commercial largewhite landrace cross. **Journal Of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, p.1961-1971, nov. 2013.

VENTURINI, A. C.; CONTRERAS-CASTILLO, C. J.; FARIA, J. A. F. Revisão: sistema de embalagem para carne bovina fresca em atmosfera modificada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2009.

VIEIRA, C.; DIAZ, M. T.; MARTINEZ, B.; GARCIA-CACHAN, M. D. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. **Meat Science**, v. 83, p. 398-404, 2009.

XIA, X.; KONG, B.; LIU, Q.; LIU, J. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. **Meat Science**, v. 83, p. 239-245, jan. 2009.

YANCE, J. W. S.; WHARTON, M. D.; APPLE, J. K. Cookery method and end-point temperature can affect the Warner–Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef longissimus steaks. **Meat Science**, v.88, n.1, p. 1-7, 2011.