

## Caracterização do processo de *rigor mortis* e qualidade da carne de animais abatidos no Brasil

### Characterization of *rigor mortis* process and meat quality of animals slaughtered in Brazil

Tatiana P. Rodrigues<sup>1</sup>, Teófilo J. P. da Silva<sup>2</sup>

#### RESUMO

Com a intensificação dos sistemas de produção e desenvolvimento de mercados diferenciados (nacional e internacional) a qualidade da carne assume maior importância na produção dos animais de açougue (bovino, suíno, ovino e aves) e de carnes não convencionais (capivara, jacaré, avestruz, entre outras). Neste contexto, os efeitos das mudanças no pré-rigor (tempo, temperatura e pH) e nas características da carne (comprimento de sarcômero, maciez, coloração, suculência e rendimento industrial) são grandemente influenciados pelas condições que prevalecem durante o período entre o abate e o completo desenvolvimento do processo de *rigor mortis*. Portanto, o manejo dos animais

pré-abate e os métodos de processamento de abate devem ser dirigidos para evitar excessivo encurtamento muscular e, assim, não prejudicar a qualidade da carne.

**Palavras-chave:** abate; comprimento de sarcômero; maciez da carne.

#### ABSTRACT

With the intensification of production systems and development of differentiated markets (national and international) meat quality to assume greater importance in the production of butcher animals (cattle, pigs, sheep and poultry) and unconventional meats (capibara, alligator, ostrich, etc.). In this context, the effects of changes in the pre-rigor (time, temperature and pH) and the characteristics of the meat (sarcomere length, tenderness, color, juiciness and

<sup>1</sup> Professora Doutora do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB – Rua Rui Barbosa, 710 – CEP 44.380-000 – Cruz das Almas – BA – Tel. (75) 3621-9751 – e-mail: tatiana\_pacheco@ufrb.edu.br.

<sup>2</sup> Professor Doutor do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Fluminense – UFF – Rua Vital Brasil Filho, 64 – CEP 24220-340 – Niterói – RJ – Tel. (21) 2710-0526 – e-mail: mttajps@vm.uff.br.

industrial yield) are greatly influenced by the conditions that prevail during the period between slaughter and the full development of rigor mortis process.

Therefore, the management of pre-slaughter animals and slaughter processing methods should be addressed to avoid excessive muscle shortening and thus not impair the quality of the meat.

**Key words:** slaughter; sarcomere length; meat tenderness.

## 1. RIGOR MORTIS E QUALIDADE DA CARNE

O desenvolvimento do processo de *rigor mortis* muscular é influenciado principalmente pela reserva de glicogênio, pH e temperatura. As alterações *post mortem* influenciam a qualidade da carne e esta pode ser mensurada por vários fatores, principalmente por sua coloração, maciez e suculência. O consumidor discrimina a carne escura porque associa essa cor com carne de animais mais velhos e, portanto, com a dureza da carne. Esta

relação muitas vezes não é verdadeira, pois, no caso de um animal abatido com poucas reservas de glicogênio, a carne não atinge o pH desejado para produzir uma coloração normal, independentemente de sua idade e maciez, constituindo um processo anormal do *post mortem*. A maciez é, sem dúvida, a característica mais importante da palatabilidade da carne e a idade do animal é responsável em grande parte pela variação da maciez da carne, devido à maior ou menor solubilidade do colágeno. No entanto, o resfriamento rápido de carcaças de animais jovens pode resultar em carne dura e com menor suculência, devido ao rigor de resfriamento (“cold shortening”), ou em carne ainda mais dura no rigor de descongelamento (“thaw rigor”), resultado do encurtamento dos sarcômeros (SWATLAND, 1984; KOOHMARIE et al., 1991; FLETCHER, 1999; ABERLE et al., 2001; SANTOS et al., 2008).

A partir da morte do animal, o músculo experimenta certos processos

de natureza bioquímica, a ponto de diferenciar-se de suas características originais, passando a ser considerado carne (PARDI *et al.*, 2001). Durante as horas que se seguem ao abate, inicia-se o endurecimento dos músculos conhecido como rigidez cadavérica ou *rigor mortis*. As alterações *post mortem* nos músculos se iniciam com o declínio da fosfocreatina quinase, de forma rápida, imediatamente após a morte. As concentrações de ATP mantêm-se relativamente constantes até que se reduzam os níveis de fosfocreatina quinase. Nesse momento, o ATP, fonte de energia para as reações químicas, continua com o suprimento de energia para todas as funções musculares. Na ausência de oxigênio a glicólise converte o glicogênio em ácido láctico sem recuperação do ATP. O ácido láctico não tem como ser retirado do músculo, e o baixo pH faz com que a actina e a miosina se unam, formando a actomiosina de forma irreversível. Com o *rigor mortis* fica caracterizado o

encurtamento definitivo dos sarcômeros, devido à formação do complexo actomiosina; assim, os músculos perdem a extensibilidade, tornando a carne bem menos macia (PRICE & SCHWEIGERT, 1994; LAWRIE, 2005).

A resolução do rigor ocorre com proteólise das miofibrilas, que têm grande papel na maciez da carne no *post mortem*. Numerosas enzimas proteolíticas são encontradas no músculo esquelético, entretanto, somente proteases cálcio dependentes - também chamadas calpaínas (CDP) - e catepsinas degradam proteínas miofibrilares. As CDP e catepsinas ou seu sinergismo são primariamente responsáveis por alterações *post mortem* (KOOHMARIE *et al.*, 1991).

A velocidade do *rigor mortis* é controlada, principalmente, pela reserva de glicogênio, pH e temperatura do músculo. O grau de atividade muscular anterior ao sacrifício influencia a quantidade de glicogênio muscular armazenado no momento do mesmo. Em

animais exaustos, o glicogênio pode estar quase totalmente esgotado de forma que a glicólise *post mortem* e os valores finais do pH estejam altos em relação à carne normal. Os músculos que conservam um pH alto durante sua conversão em carne podem apresentar cor escura e superfície seca devido à água presente no músculo que fica fortemente ligada as proteínas (carne DFD – Dark, Firm and Dry – dura, escura e seca). Por outro lado, os músculos cujo pH decresce muito rapidamente são de cor pálida e tem uma baixa capacidade de retenção de água; e, em casos extremos, a superfície goteja – sendo a carne chamada de PSE – Pale, Soft and Exudative (pálida, flácida e exsudativa) (SWATLAND, 1984; ABERLE et al., 2001; CALDARA, 2012; LOMIWES et al., 2014).

Vários fatores determinam a velocidade da queda do pH, o início e duração do *rigor mortis* e as propriedades da carne. Podem ser citados: estresse causado por fatores ambientais como

temperatura, umidade, luz, espaço, ruído e fatores intrínsecos, como resistência ou susceptibilidade do próprio animal ao estresse, temperatura *post mortem* e localização anatômica do músculo; procedimentos realizados após o abate e antes da rigidez. Aspectos da produção animal como herança genética, manejo antes do abate (transporte, descanso, atordoamento e sangria) e nutrição também podem influenciar as propriedades musculares (ROÇA & SERRANO, 1994; MENDES & KOMIYAMA, 2011).

O transporte dos animais até o local de abate pode ser um fator estressante. Quanto maior à distância, maior seria a degradação das reservas de glicogênio dos animais transportados, desta forma o descanso adequado interfere na qualidade sensorial da carne. Mas em situações em que o local de abate é próximo, definindo um tempo de transporte menor é necessário a adaptação dos animais à nova situação, pois os animais podem se estressar e

ocorrer o esgotamento das reservas de glicogênio (VILARROEL *et al.*, 2003) .

A temperatura de armazenamento das carcaças dos animais abatidos pode determinar a velocidade das reações químicas que ocorrem no tecido muscular. As reações enzimáticas que ocorrem nos músculos são muito sensíveis à temperatura. O nível de encurtamento no pré-rigor varia muito, dependendo do pH inicial e da concentração de ATP no músculo. Assim, é conveniente reduzir a temperatura muscular depois da morte, tão rápido quanto possível, para minimizar a desnaturação protéica que ocorre neste período e para inibir o crescimento microbiano. Por outro lado, a redução excessivamente rápida da temperatura muscular no período *post mortem* tem consequências prejudiciais como o rigor de descongelamento e o encurtamento pelo frio. O segundo é menos grave que o rigor de descongelamento; sua causa real está relacionada com a liberação dos íons de cálcio, pois o retículo

sarcoplasmático parece ser incapaz de seqüestrar e unir o excesso de íons, devido às baixas temperaturas e ao baixo valor do pH no músculo em pré-rigor. Já o rigor de descongelamento (“thaw rigor”) é um tipo de rigidez cadavérica grave que se desenvolve no músculo que foi congelado no pré-rigor. Esta contração é acompanhada da liberação de grande quantidade de sucos cárneos e por um severo endurecimento. Mas em altas temperaturas com a utilização de estimulação elétrica, a glicólise é acelerada, resultando num declínio do pH até que o rigor se instale, assim evitando o encurtamento pelo frio. (ABERLE *et al.*, 2001; PARDI *et al.*, 2001; LAWRIE, 2005). A estimulação elétrica de carcaças é feita usualmente para aumentar o amaciamento, a partir da ativação de algumas enzimas proteolíticas endógenas, como a  $\mu$ -calpaína (DRANSFIELD *et al.* 1992)

As carcaças estimuladas eletricamente apresentaram maior queda de pH, nas primeiras horas após o abate,

do que as carcaças não-estimuladas, demonstrando que o processo do *rigor mortis* é acelerado, assim como a conversão de músculo em carne (MARSH et al., 1987; SMULDERS et al., 1990; PIKE et al., 1993; PUGA et al., 1999, CARVALHO, 2006; FRYLINCK, et al. 2009; SANTOS, et al., 2012).

A taxa de queda de pH varia entre os diferentes músculos do mesmo animal, entre diferentes raças e espécies. Isto foi comprovado pelos estudos de LAWRIE (2005) com diversas espécies animais que concluíram haver correlação inversa entre a atividade muscular e capacidade do metabolismo aeróbio do músculo.

Pode-se verificar que ao longo dos anos alguns estudos realizados no Brasil comprovaram as observações de LAWRIE (2005). Este experimentos estudando as alterações *post mortem* em diferentes espécies animais (bovinos, aves, suínos, equinos, ovinos, entre outras), demonstraram haver correlações entre pH e temperatura de carcaça.

Tanto nos estudos com espécies de açougue (ABREU, 1984; FREITAS et al., 1994; PINHEIRO et al., 2001; RODRIGUES et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004) quanto naqueles com espécies não convencionais (TABOGA et al., 2003; ODA et al., 2004; GASPAR et al., 2005; COSTA et al., 2006; SANTOS et al., 2006; VIEIRA et al., 2012) , a avaliação de parâmetros, como pH, comprimento de sarcômero, temperatura de carcaça, entre outros, ocorreram nas condições normais de acondicionamento em câmara frigorífica. As alterações *post mortem* influenciaram no declínio do pH após algumas horas após o abate. O tempo para tal está correlacionado a espécie estudada devido às diferenças fisiológicas destas e, portanto pelo tipo de fibra muscular que compõe a musculatura destas espécies. Foi observada em aves (FREITAS et al., 1994) a acidificação máxima após cinco horas de abate, pois estas possuem mais fibras glicolíticas, isto é, mais metabolismo anaeróbio, que fibras

oxidativas. Esse valor nas espécies de jacarés (TABOGA *et al.*, 2003; VIEIRA *et al.*, 2012 ) foi observado após 36h de abate e nas espécies bovina (ABREU, 1984), equina (RODRIGUES *et al.*, 2004) e ovina (OLIVEIRA *et al.*, 2004), o tempo foi intermediário, com a acidificação máxima ocorrendo em torno de 24 horas após o abate, pois estas espécies apresentam uma musculatura com metabolismo aeróbio (fibras oxidativas) mais intensa. De forma geral, o valor do pH nas espécies estudadas ficou entre 5,5 e 6,0, o que demonstrou que o processos de obtenção de carcaça não influenciaram negativamente nas alterações *post mortem*, isto é, as carcaças não sofreram alterações no metabolismo do glicogênio, que poderiam ter formado carnes DFD ou PSE. Desta forma, verificou-se que em todos os estudos supracitados o processo de conversão de músculo em carne transcorreu normalmente, mantendo assim a qualidade da carne das diversas espécies estudadas, isto é, não

ocorreram fatores estressantes durante o pré-abate e nem tecnopatias durante o abate e pós-abate que pudessem ter interferido na qualidade.

## **2. COMPRIMENTO DE SARCÔMERO DURANTE A EVOLUÇÃO DO *RIGOR MORTIS***

A determinação do tamanho de sarcômero demonstra uma correlação entre seu comprimento e o desenvolvimento do processo de *rigor mortis*, bem como da maciez da carne. Este parâmetro sofre alterações durante o período de rigor, sendo observadas rupturas transversais nas miofibrilas, devido à ação enzimática, na medida em que progride a resolução do *rigor mortis* (WHEELER & KOOHMARAIE, 1994).

O método mais comumente utilizado para determinação de comprimento de sarcômero é a microscopia de contraste de fase com imersão em tecido não corado. O espaço entre linhas Z é medido com utilização de ocular milimetrada e combinações com

microcomputadores e impressoras podem ser utilizadas. Outro método para determinar o comprimento de sarcômero é o método de difração a laser, com amostra fixada (CASSENS, 1970). Pode-se utilizar microscopia óptica em imersão (ocular milimetrada) para mensurar sarcômeros após processamento histológico das amostras e utilização de colorações próprias para evidenciar os componentes das fibras musculares como Hematoxilina fosfotúngstica de Mallory e Tricomo de Gomori entre outros (BEHMER et al., 1976). Além desses métodos, utiliza-se ainda a microscopia eletrônica para observação dos sarcômeros (LAWRIE, 2005; SILVA & CARVALHO, 2007; BOROSKY et al., 2010).

ABREU (1984), estudou a correlação entre tempo, temperatura e pH com o comprimento de sarcômero no *rigor mortis* em carcaças frigorificadas de bovino, utilizando os músculos grácil e bíceps braquial. Observou que quanto menor o pH, maior o encurtamento do

sarcômero. O autor verificou correlação inversa entre tempo, temperatura e pH em relação ao comprimento de sarcômero. Utilizando a técnica descrita por BEHMER et al., (1976), verificou que a contração máxima do sarcômero foi na 15ª hora após abate em ambos os músculos, com o comprimento de 1,35  $\mu\text{m}$  e 1,69.  $\mu\text{m}$  respectivamente.

Resultados semelhantes foram observados nos experimentos de FREITAS et al. (1994), PINHEIRO et al. (2001), RODRIGUES et al. (2004), OLIVEIRA et al. (2004), SANTOS et al. (2006) e COSTA et al. (2006), que utilizaram também a técnica supracitada.

FREITAS et al. (1994) verificaram o menor comprimento de sarcômero em músculo peitoral de aves, na 5ª hora após abate (1,31  $\mu\text{m}$ ). No experimento realizado com carcaças suínas o músculo *Longissimus dorsi* teve contração máxima na 6ª hora após abate (1,39  $\mu\text{m}$ ), enquanto que para o músculo *Semispinalis capitis*, a menor medida foi observada na 8ª hora após abate (1,37



$\mu\text{m}$ ) (PINHEIRO *et al.*, 2001). No caso de carcaças equinas a menor medida de sarcômero, observada em ambos os músculos estudados (*Longissimus dorsi* e *Semitendinosus*), foi na 15<sup>a</sup> hora após abate, ou seja, 1,44 $\mu\text{m}$  e 1,41 $\mu\text{m}$ , respectivamente (RODRIGUES *et al.*, 2004). OLIVEIRA *et al.* (2004) em seu experimento com os músculos *Longissimus dorsi* e *Triceps brachii* de ovinos, observaram contração máxima na 12<sup>a</sup> hora (1,45 $\mu\text{m}$ ) após a sangria e na 15<sup>a</sup> hora (1,46 $\mu\text{m}$ ), respectivamente. Já na pesquisa realizada por SANTOS *et al.* (2006) que avaliaram os músculos *Gastrocnemius internus* e *Fibularis longus* de avestruzes híbridos, a contração máxima do sarcômero ocorreu em 1/2 hora após abate, em ambos os músculos, com comprimento de 1,50  $\mu\text{m}$  e 1,60  $\mu\text{m}$  respectivamente. Em perus a contração máxima do sarcômero dos músculos *Gastrocnemius* e *Pectoralis* ocorreu na 0,25h. (1,59  $\mu\text{m}$  e 1,61  $\mu\text{m}$ ) após a sangria (COSTA *et al.*, 2006).

Estes estudos evidenciam a relação do *rigor mortis* com o tipo de fibra muscular, assim como com a localização do músculo e a espécie animal. As fibras oxidativas (contração lenta) apresentam um encurtamento máximo do sarcômero num tempo maior do que as fibras glicolíticas (contração rápida). Isto decorre da formação de actomiosina mais rápido nas fibras glicolíticas pela formação mais acelerada de ácido láctico, pois as fontes de ATP nas fibras glicolíticas se encerram mais rapidamente do que nas fibras oxidativas. Também se observa pelos estudos que a queda do pH e temperatura nos músculos avaliados demonstrou alta correlação inversa com o tempo após abate e baixa correlação inversa entre comprimento de sarcômero e tempo após abate, pois o sarcômero diminui e aumenta seu comprimento ao longo do processo de conversão de músculo em carne, devido as modificações naturais do pós morte .

### 3. MACIEZ DA CARNE

A maciez da carne é grandemente influenciada pelas condições que prevalecem durante o período entre o abate e o completo desenvolvimento do *rigor mortis*. Dentre os fatores antes do abate que influenciam a maciez tem-se a espécie animal, raça, idade, estrutura do músculo, como por exemplo, a espessura do perimísio e endomísio e diâmetro da fibra muscular. As variações na maciez dos músculos no mesmo animal e entre animais de diferentes idades se devem, em grande parte a diferenças em quantidade e natureza dos tecidos conjuntivos. A quantidade de fibras conjuntivas de colágeno é aumentada nos músculos que tem maior atividade e os entrecruzamentos dessas fibras são abundantes. Outro fator que determina o grau de maciez do músculo é o estado de contração que segue a rigidez, condição controlada em parte pelo grau de tensão do músculo durante a instauração do

*rigor mortis*, isto é, o estado de repouso do animal influencia no processo de *rigor mortis* subsequente ao abate. As propriedades mecânicas da carne estão relacionadas com o pH final, temperatura *post mortem*, comprimento de sarcômero e proteólise enzimática das proteínas miofibrilares pelas calpaínas e catepsinas, principalmente as troponinas e desmina. Há uma relação inversa entre o comprimento de sarcômero e maciez da carne. A maciez está relacionada de tal forma ao encurtamento *post mortem*, que os métodos de processamento devem ser dirigidos para minimizá-lo. (NEWBOLD & HARRIS, 1972; YU & LEE, 1986; TAYLOR et al., 1995; ABERLE et al., 2001; LAWRIE, 2005; ZHENG et al., 2010)

A atividade da  $\mu$ -calpaína no *post mortem* pode ser influenciada por vários fatores como pH, temperatura de refrigeração, quantidade de calpastatina, por processos de maturação (GEESINK & KOOHMARAIE, 1999) e estimulação elétrica (DRANSFIELD et al., 1992). Os

músculos onde o *rigor* ocorre em altas temperaturas têm uma redução na atividade das calpaínas e conseqüentemente redução na maciez da carne (DRANSFIELD *et al.*, 1992; SIMMONS *et al.*, 1996). Vários estudos demonstraram que a combinação de um resfriamento lento com uma glicólise rápida resulta numa menor atividade da  $\mu$ -calpaína e calpastatina em 24 horas *post mortem* (WHIPPLE *et al.*, 1990; UYTTERHAEGEN *et al.*, 1992; HWANG & THOMPSON, 2001). Desta forma, observa-se a importância dos procedimentos no pré-abate, como evitar o estresse dos animais e no pós-abate como o resfriamento adequado das carcaças, para a manutenção da qualidade das carnes.

Alguns métodos objetivos para avaliar a dureza da carne incluem: o instrumento Warner-Bratzler e a Máquina de Ensaio Universal Instron. Estes instrumentos medem a força necessária para cisalhar ou cortar uma amostra de carne em libras ou quilogramas. Um

maior valor de força de cisalhamento equivale a uma maior dureza da carne. Pode-se utilizar painelistas treinados ou fazer testes com consumidores para avaliar não somente a dureza, mas outras características sensoriais da carne, como sabor, aroma e suculência, por exemplo (PRICE & SCHWEIGERT, 1994).

Muitos consumidores dão mais valor a carnes mais macias, quando comparadas as carnes mais duras (BOLEMAN *et al.*, 1997; LUSK, *et al.* 2001; PRIETO, *et al.* 2008; POLKINGHORNE; THOMPSON, 2010; LYFORD *et al.* 2010). Além disso, há consumidores que estão dispostos a pagar mais por animais bem-criados, isto é, que tem bom manejo nutricional, são produzidos sob os preceitos de bem-estar animal e rastreabilidade, entre outros fatores (TONSOR, *et al.* 2005). Dessarte, os processos industriais tem que garantir a qualidade da carne (maciez), mas não somente isso, pois hoje em dia os consumidores se

preocupam com a origem e em quais condições os animais foram criados antes de se tornarem fonte de alimento.

SHACKLEFORD et al. (1997) estudando a maciez do músculo *Longissimus* em bovinos classificaram as carcaças em macias, intermediárias e duras e consideraram as carnes com força de cisalhamento acima de 6,0 kg como duras.

Assim nos experimentos realizados no Brasil as carnes dos diversos animais estudados puderam ser consideradas macias, por apresentarem força de cisalhamento inferior a 6,0 kg (BRESSAN & BARAQUET, 2002; BRESSAN et al., 2004; ODA et al., 2004; RODRIGUES et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004; SANTOS et al., 2006; CATTELAM et al., 2013). O mesmo não foi observado no experimento com perus (*Meleagris gallopavo*), onde se observou valores acima de 6,0 kg para força de cisalhamento nos músculos *Gastrocnemius* e *Pectoralis* (COSTA et al., 2006).

Em alguns destes estudos observou-se que a localização do músculo, assim como a idade dos animais, isto é, a quantidade de atividade muscular e tecido conjuntivo, influenciaram a maciez do músculo. As observações dos estudos de RODRIGUES et al. (2004) e OLIVEIRA et al. (2004) corroboram com o preconizado na literatura, quando se refere às características pré-abate que influenciam na maciez da carne. Em experimento com carcaças de equinos (RODRIGUES et al., 2004) os resultados de força de cisalhamento foram de 1,87 kg  $\pm$  0,19 para o músculo longo dorsal nos equinos jovens e 2,39 kg  $\pm$  0,20 nos equinos adultos, e de 2,67 kg  $\pm$  0,25 para o músculo semitendíneo nos jovens e 4,04 kg  $\pm$  0,65 nos adultos. Foi observada diferença significativa entre as médias dos tipos de cortes comerciais e idade dos animais ( $p < 0,05$ ), isto é, tanto o corte quanto a idade dos animais influenciaram na força de cisalhamento. OLIVEIRA et al. (2004) em seu estudo verificaram que

houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) na força de cisalhamento entre os cortes comerciais e idade. O filé de lombo (*Longissimus dorsi*) dos cordeiros foi mais macio ( $p < 0,01$ ) do que dos carneiros (2,73kg x 3,55kg) bem como a paleta ou *Triceps brachii* (3,77kg x 4,28kg).

As características de carcaça e qualidade da carne de novilhos confinados em diferentes espaços individuais foram estudadas por CATTELAM, *et al.* (2013). Os valores de pH e temperatura nos músculos *Longissimus dorsi* e *Recto femoralis* não foram afetados pelos espaçamentos individuais utilizados para o confinamento, desta forma não influenciaram as características sensoriais como cor, textura, marmoreio e a força de cisalhamento apresentou valor médio de 5,06 kgF/cm<sup>3</sup>. Neste caso, a idade de abate dos animais (24 meses) foi mais importante para garantir a maciez da carne.

Outros estudos comprovaram que as alterações *post mortem* podem influenciar na maciez da carne. Desta forma, BRESSAN & BERAQUET (2002) observaram que em aves sem descanso, a média de força de cisalhamento foi de 4,44 kgf/g, ao passo que em descanso de 02 e 04 horas, as médias foram de 6,00 e 5,52 kgf/g, respectivamente. Estes estudaram os efeitos da temperatura ambiental pré-abate, distância de transporte da granja ao frigorífico e tempo de descanso sobre o desenvolvimento das reações químicas *post mortem* e a qualidade da carne de peito de frango. Observaram que a temperatura ambiental pré-abate afetou ( $p < 0,01$ ) o valor de pH e o estresse calórico, acelerou a instalação do *rigor*. O efeito dos tempos de descanso ( $p < 0,001$ ) e das distâncias de transporte ( $p < 0,01$ ) também foi significativo sobre o valor de pH e da maciez da carne, isto é, as aves transportadas por distâncias mais curtas apresentaram maiores reservas de energia muscular, utilizadas nas

transformações do músculo em carne, do que aquelas aves transportadas por distâncias mais longas e, por conseguinte, submetidas a um estresse por transporte mais longo. No experimento realizado

por ODA et al. (2004) a força de cisalhamento da carne de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*), foi influenciada pelo Método de Abate, sendo observado maiores valores ( $p < 0,05$ ) para Método por Tiro do que para Método Humanitário com médias de 5,04 e 3,97 kgf, respectivamente. Segundo BRESSAN et al. (2004) comparada com espécies domésticas, a carne de capivara assemelha-se à carnes de bovinos e ovinos (carnes vermelhas) e a mesma possui textura (força de cisalhamento) considerada macia.

SANTOS et al. (2006) ao compararem os valores da força de cisalhamento e o comprimento do sarcômero da carne de avestruz, com as análises realizadas, nos intervalos de 1/2h, 3h, 6h, 9h, 12h e 24h após sangria,

observaram que a contração máxima do sarcômero e a maior força de cisalhamento ocorreram no mesmo estágio de rigor, portanto, 1/2hora *post mortem*, em ambos os músculos, demonstrando a influência do comprimento do sarcômero no grau de textura da carne obtida. Os valores de força de cisalhamento foram de 2,78kg e 3,52kg para *Gastrocnemius internus* e *Fibularis longus*, respectivamente, indicando ser o primeiro de melhor textura.

COSTA et al. (2006) obtiveram valores médios de força de cisalhamento da carne de perus para o músculo *Gastrocnemius* entre 9,50 kg (0,25h) e 6,23 kg (18,5h) após abate e para o músculo *Pectoralis* entre 10,30 kg (0,25h) e 6,45 kg (18,5h). Segundo os autores esses resultados de força de cisalhamento podem ser explicados pelo fato das carcaças não terem sido estimuladas eletricamente e por isso ocorrendo um *rigor mortis* mais lento,

resultando num menor comprimento de sarcômero e menor maciez do músculo.

Outras formas de se avaliar a maciez da carne incluem a fragmentação miofibrilar (SOUZA *et al.*, 2010), que é inversamente proporcional à dureza; e a determinação do conteúdo de enlaces cruzados (“crosslinks”) de colágeno muscular, pela avaliação da quantidade de hidroxiprolina, que de acordo com a quantidade pode conferir maior ou menor maciez a carne (CROSS *et al.*, 1986; DELLA TORRE *et al.*, 2004). Nos últimos anos diversos experimentos brasileiros utilizaram estes métodos para avaliar a maciez da carne de diferentes espécies (ABREU *et al.*, 2011; DUARTE *et al.*, 2011; MELLO, *et al.* 2012; TARSITANO *et al.*, 2013).

Os processos industriais podem ser utilizados para melhorar a maciez da carne. Dentre estes a maturação é um processo conhecido por séculos e tem por objetivo a melhoria nas características de maciez, sabor e aroma da carne através da manutenção desta

por certo tempo em condições controladas de umidade relativa e temperatura. Desde que as operações de abate obedçam às normas técnicas da higiene, a carne pode ser conservada por algumas semanas, se mantida em torno de 0°C. (EFFENBERGER & SCHOTTE, 1972). Neste processo a carne embalada a vácuo, juntamente com as baixas temperaturas, possibilita a ação das proteases endógenas, retardando o crescimento de bactérias aeróbicas putrefativas e favorecendo o crescimento das bactérias lácticas, que, por sua vez, produzem modificações bioquímicas responsáveis pela diminuição da coesão entre as miofibrilas, aumentando assim a maciez (SIMEONI *et al.*, 2014). Com 24 horas de maturação a temperaturas em torno de 2°C já é possível obter bons resultados na maciez da carne (GONÇALVES *et al.*, 2004; KOMIYAMA *et al.*, 2009). ANDRADE e seus colaboradores (2010) observaram que a maturação melhora a maciez das carnes, porém modifica a cor,

cujas alterações mais importantes acontecem entre 07 e 14 dias de estocagem. Os mesmos concluíram que a escolha do tempo de maturação mais adequado para as carnes depende do atributo a ser valorizado.

Além da maturação, outros métodos são estudados para amaciar as carnes. O ultrassom, que atualmente é utilizado na indústria para classificação e tipificação de carcaças, também é uma das novas tecnologias limpas estudadas para amaciamento de carnes. Observa-se principalmente à sua capacidade de melhorar a maciez da carne, por mecanismos de cavitação. Alguns parâmetros acústicos como frequência, intensidade e tempo de exposição ao tratamento influenciam no amaciamento da carne (ALVES et.al, 2013). A Alta Pressão Hidrostática (APH) é outro método estudado, pois esta pode ser utilizada como possível alternativa para o amaciamento de carnes, de forma a reduzir o tempo requerido para o alcance das características desejadas de textura,

aumentando, por consequência, a eficiência e o rendimento do processo. Além disso, não aumenta a temperatura durante o processamento e, dessa forma, modifica minimamente as características originais dos produtos (NETO et al., 2011). A APH tem por princípio submeter os alimentos a pressões hidrostáticas bastante elevadas, de 50 a 1000 MPa (ZIMMERMAN e BERGMAN, 1993). Neste caso o que aumenta a maciez da carne é o rompimento físico da estrutura do músculo (CHEFTEL & CURIOLI, 1997).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As alterações *post mortem* tem grande influência na qualidade da carne, que tem a maciez como característica de palatabilidade mais importante. Assim sendo, os processos zootécnicos e tecnológicos devem ser direcionados para evitar no pré-abate, abate e pós-abate acontecimentos que interfiram negativamente no processo de *rigor mortis* e na qualidade da carne. Além disso, novos processos industriais devem



ser estudados para melhorar as características sensoriais das carnes. Deve ser lembrado que atualmente o consumidor está mais exigente quanto à qualidade da carne, não só se preocupando com a qualidade higiênico-sanitária do produto, mas também com a qualidade sensorial e se os animais foram manejados antes do abate respeitando os preceitos do bem estar animal. Portanto, garantir a qualidade higiênico-sanitária, sensorial, nutricional, entre outras características importantes para o consumidor é fundamental para manter a competitividade das indústrias processadoras de carne no mercado.

## REFERÊNCIAS

ABERLE, E.D. et al. **Principles of Meat Science**. 4. ed. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company, 2001. 354 p.

ABREU, R.L. **Correlação entre tempo, temperatura e pH com comprimento de sarcômero no rigor mortis em carcaça frigorificada de bovino**. 1984. 81 f. Dissertação (Mestrado de Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 1984.

ABREU, R.L. Comparação da carne de javali (*Sus scrofa scrofa*) em relação à de outras espécies no que tange a

hidroxiprolina. **Rev. Bras. Med. Vet.**, v.33, n.1, p.58-60, 2011

ALVES, L. L. et al. O ultrassom no amaciamento de carnes. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1522-1528, 2013.

ANDRADE, P.L. et al. Qualidade da carne maturada de bovinos Red Norte e Nelore. **R. Bras. Zootec.**, v.39, n.8, p.1791-1800, 2010.

BOLEMAN, S. J. et al. Consumer evaluation of beef on known categories of tenderness. **Journal of Animal Science**, v.75, n.6, p.1521-1524, 1997.

BOROSKY, J.C. et al. Características das fibras musculares do I. dorsi e qualidade da carne de suínos de quatro linhagens. **Arch. Zootec.** v.59, n.226, p.277-286, 2010.

BRESSAN, M. C.; BERAQUET, N. J. Efeito de fatores pré-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango. **Ciênc. agrotec.**, v.26, n.5, p.1049-1059, 2002.

BRESSAN, M.C. et al. Influência do sexo e faixas de peso ao abate nas características físico-químicas da carne de capivara. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.24, n.3, p.357-362, 2004.

CALDARA, F. R. et al. Propriedades físicas e sensoriais da carne suína PSE. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, v.13, n.3, p.815-824, 2012.

CARVALHO, S. R. S. T. **Avaliação da estimulação elétrica nos parâmetros qualitativos de carcaças bovinas**.

2006. 92 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos de Origem Animal) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo-SP, 2006.

CATTELAM, J. et al. Características de carcaça e qualidade da carne de novilhos confinados em diferentes espaços individuais. **Ci. Anim. Bras.**, v.14, n.2, p. 185-198, 2013.

CHEFTEL, J.; CURIOLI, J. Effects of high pressure on meat: a review. **Meat Science**, Oxford, v.46, n.3, p.211-236, 1997. <Disponível em [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00017-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00017-X). Acesso em 11 dez. de 2015.>

- COSTA, F. et al. Caracterização do processo de *rigor mortis* nos músculos *Gastrocnemius* e *Pectoralis* de perus (*Meleagris gallopavo*) e maciez da carne. **R. bras. Ci. Vet.**, v.13, n.3, p.165-169, 2006.
- CROSS, H. R. et al. Sensory qualities of meat In: **Muscle as Food**. Orlando: Academic Press, 1986. p 230-320.
- DELLA TORRE, J. C. de M. et al. Validação do método espectrofotométrico para quantificação do aminoácido hidroxiprolina em conservação de carnes. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v.63, n.1, p.35-42, 2004.
- DRANSFIELD, E. et al. Modeling *post-mortem* tenderisation-II: Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef. **Meat Science**, v.31, p.75-84, 1992.
- DUARTE, M.S. Influence of dental carcass maturity on carcass traits and meat quality of Nellore bulls. **Meat Science**, v.88, p.441-446, 2011.
- EFFENBERGER, G.; SCHOTTE, K. **Empaquetado de la carne y productos cárnicos**. Ed. Acribia. Espanha. 1972, 186 p.
- FLETCHER, D. L. Broiler breast meat color variation, pH and texture. **Poultry Science**, v.78, p.1323-1327, 1999.
- FREITAS, M. Q., et al. Correlação entre pH e comprimento de sarcômero em músculo de ave (*Gallus domesticus*) durante o processamento industrial para obtenção de carcaças resfriadas. **Higiene Alimentar**, v.8, n.33, p.24-26, 1994.
- FRYLINCK, L. et al. Evaluation of biochemical parameters and genetic markers for association with meat tenderness in South African feedlot cattle. **Meat Science**, v.83, p.657-665, 2009.
- GASPAR, A. et al. Insensibilização e Rendimento de Carcaça de Tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*). **Braz. J. Food Technol.**, v.8, n.1, p.57-61, 2005.
- GEESINK, G. H.; KOOHMARAIE, M. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by  $\mu$ -calpain under *postmortem* conditions. **Journal of Animal Science**, v.77, p.2685-2692, 1999.
- GONÇALVES, L. A. G. et al. Efeitos do sexo e do tempo de maturação sobre a qualidade da carne ovina. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.24, n.3, p.459-467, 2004.
- HWANG, I., H.; THOMPSON, J. M. The interaction between pH and temperature decline early *postmortem* on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef *longissimus dorsi* muscle. **Meat Science**, v.58, p.167-174, 2001.
- KOMIYAMA, C. M. et al. Avaliação da técnica de maturação sobre a qualidade da carne e estrutura da fibra muscular do peito de matrizes pesadas de descarte de frangos de corte. **Braz. J. Food Technol.**, II SSA, p. 89-93, 2009.
- KOOHMARIE, M. et al. Postmortem proteolysis in *Longissimus* muscle from beef lamb and carcasses. **Journal of Food Science**, v.69, p.617-624, 1991.
- LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 3. ed. Oxford: Pergamon Press, 2005. 451p.
- LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalized by ultimate pH. **Meat Science**, v.96, p.646-651, 2014.
- LUSK, J. L. et al. In-store valuation of steak tenderness. **Amer. J. Agr. Econ.**, v.83, n.3, p.539-550, 2001.
- LYFORD, C. et al. Is willingness to pay (WTP) for beef quality grades affected by consumer demographics and meat consumption preferences? **Australasian Agribusiness Review**, v.18, p. 1-17, 2010.
- MELLO, J. L. M. et al. Relação entre maciez e concentração de colágeno do músculo *Pectoralis major* em frangos de corte convencionais e do tipo "Caipira". **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v.14, n.2, p.181-183, 2012
- MENDES, A. A.; KOMIYAMA, C. M. Estratégias de manejo de frangos de corte visando qualidade de carcaça e carne. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, p. 352-357, 2011.

- NETO, O. C. et al., Modificações físico-químicas na carne *in natura* bovina decorrentes da alta pressão hidrostática. **Braz. J. Food Technol.**, v.14, n.2, p.91-100, 2011.
- NEWBOLD, R. P.; HARRIS, P. V. The effect of pre-rigor changes on meat tenderness: A Review. **Journal of Food Science**, v.37, p.337-340, 1972.
- ODA, S. H. I., et al. Efeito do método de abate e do sexo sobre a qualidade da carne de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.24, n.3, 2004.
- OLIVEIRA, I. et al. 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, n. 1, p. 25 - 31, 2004.
- PARDI, M. C. et al. **Ciência, Higiene e Tecnologia da Carne**. 2. ed. Goiânia: CEGRAF-UFG, v.1, 2001. 623p.
- PINHEIRO, R. M. K. et al. Temperatura, pH e comprimento de sarcômero durante o *rigor mortis* em carcaça frigorificada de suínos abatidos em São Gonçalo-RJ. **Higiene Alimentar**, v. 15, n.82, p.39-45, 2001.
- POLKINGHORNE, R.J.; THOMPSON, J.M. Meat standards and grading - a world view. **Meat Science**, v. 86, p. 227-235 2010.
- PRICE, M. C.; SCHWEIGERT, B. S. **Ciencia de la carne e de los productos carnicos**. Espanha: Ed. Acribia, 1994.581p.
- PRIETO, N. et al. Ability of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to estimate physical parameters of adult steers (oxen) and young cattle meat samples. **Meat Science**, v. 79, p. 692-699, 2008.
- PUGA, D. M. U. et al. Avaliação do amaciamento de carne bovina de dianteiro (*Tricepsbrachii*) pelos métodos de maturação, estimulação elétrica, injeção de ácidos e tenderização mecânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, 1999.
- ROÇA, R. O.; SERRANO, A. M. Abate de bovinos: conversão do músculo em carne **Higiene Alimentar**, v. 8, n.33, p.7-13, 1994
- RODRIGUES, T.P. et al. Caracterização do processo de *rigor mortis* em músculos de eqüinos e maciez da carne. **Revista Ciência Rural**, v.34, n.5, 2004.
- SANTOS, E. R. et al, Caracterização do processo de *rigor mortis* nos músculos *Gastrocnemius internus* e *Fibularis longus* de avestruz (*Struthio camelus*) e da maciez da carne. **R. bras. Ci. Vet.**, v.13, n.3, p.160-164, 2006.
- SANTOS, A. P. Revisão: Qualidade da carne de vaca de descarte. **Braz. J. Food Technol.**, v. 11, n. 1, p. 35-45, 2008.
- SANTOS, L. E. et. al. Effect of pre and post-slaughter processes on meat characteristics of Santa Ines ewes discarded due to age. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 32, n. 3, p. 455-463, 2012.
- SHACKLEFORD, S. D. et al. Tenderness classification of beef: Evaluation of beef *longissimus* shear force a 1 or 2 days *post mortem* as a predictor of aged beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 75, p. 2417-2422, 1997.
- SILVA M. D. P.; CARVALHO R. F. Mecanismos celulares e moleculares que controlam o desenvolvimento e o crescimento muscular. **R. Bras. Zootec.**, v.36, p.21-31, 2007.
- SIMEONI, C. P. et al. Fatores pós - abate que contribuem para a maciez da carne. **REGET**, v.18, p.18-24, 2014.
- SIMMONS, N. J. et al. The effect of *prerigor* holding temperatures on calpain and calpastatin activity and meat tenderness. In: DEVINE, C. E. et al. High and low *rigor* temperature effects on sheep meat tenderness and ageing. **Meat Science**, v. 60, p.141-146, 2002.
- SOUZA, V. L. F. et al. Cruzamento industrial sobre as características de carcaça e da carne de novilhas precoces. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.32, n.4, p.447-453, 2010.
- SWATLAND, H. J. **Estructura y Desarrollo de Animales de Abasto**. Espanha: Ed. Acribia, 1984. 443p.

- TABOGA, S. R. et al. Acompanhamento das alterações post-mortem (glicólise) no músculo do jacaré do pantanal (*Caiman crocodilus yacare*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.23, n.1, 2003.
- TARSITANO, M. A. Pork meat matured for different periods of time in vacuum-packaging system. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, suplemento 2, p.4015-4024, 2013
- TAYLOR, R. G. et al. Is Z-disk degradation responsible for *postmortem* tenderization? **Journal of Animal Science**, v.73, p.1351-1367, 1995.
- TONSOR, G. T. et al. European preferences for beef steak attributes. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.30, n.2, p.367–380, 2005.
- UYTTERHAEGEN, L. et al. The effect of electrical stimulation on beef tenderness, protease activity and myofibrillar protein fragmentation. **Biochimie**, v.74, p.275-281, 1992.
- VILARROEL, M. et al. Effect of commercial transport in Spain on cattle welfare and meat quality. **Deutsche Tierärztliche Wochenschrift**, v.110, n.3, p.105-107, 2003.
- WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE M. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine *longissimus* muscle. **Journal of Animal Science**. v.72, p.1232-1238, 1994.
- WHIPPLE, G. et al. Effects of high-temperature conditioning on enzymatic activity and tenderness of *Bos indicus longissimus* muscle. **Journal of Animal Science**, v.68, p.3654-3662, 1990.
- YU, L. P.; LEE, Y. B. Effects of postmortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. **Journal of Food Science**, 51, 774-780, 1986.
- ZHENG, J. Y. An, J. X. et al. Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. **Poultry Science**, v.89, p.1750-1754, 2010.
- ZIMMERMAM, F.; BERGMAN, C. Isostatic high-pressure equipment for food preservation. **Food Technology**, v.47, n.6, p.162-163, 1993