

ANDERSON DE ALMEIDA BARBOSA

**ASPECTOS QUÍMICOS, BIOQUÍMICOS, FÍSICOS E
MECÂNICOS DE FÊMURES DE FRANGOS DE CORTE**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em Bioquímica
Agrícola para obtenção do título de *Magister
Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

ANDERSON DE ALMEIDA BARBOSA

ASPECTOS QUÍMICOS, BIOQUÍMICOS, FÍSICOS E MECÂNICOS DE FÊMURES DE FRANGOS DE CORTE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Bioquímica Agrícola para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2005

Prof^a. Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo
(Conselheira)

Conrado de Souza Rodrigues
(Conselheiro)

Prof. Robledo de Almeida Torres

Prof^a. Flávia Escapini Fanchiotti

Prof. George Henrique Kling de Moraes
(Orientador)

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Célia, aos meus irmãos Luiz, Paulo e Michele, por todo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola.

Ao professor George Henrique Kling de Moraes, pela amizade e orientação.

A professora Maria Goreti, pelo incentivo e apoio à realização deste trabalho.

Aos professores Ricardo Della Lucia, Robledo de Almeida Torres, Efraim Lázaro Reis, Tânia Toledo de Oliveira e José Ivo Ribeiro Júnior pelo apoio técnico.

À amiga do laboratório, Flavia Escapini Fanchiotti, pelos bons momentos de convivência e amizade.

Aos amigos Denise Torres e Conrado pela amizade e colaboração nas diversas etapas da realização deste trabalho.

Às amigas, funcionárias da Biblioteca Central, Cristina e Sandra pelo apoio e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, especialmente ao Sr. Geraldo Dias, Carlos Ferreira (Carlão), Eduardo Monteiro e Reginaldo Barbosa.

Ao funcionário e amigo Jefferson Dias, do Laboratório de Bioquímico Animal, pela colaboração e incentivo na realização das análises de laboratório.

Aos alunos do curso de Zootecnia, André, Rafael, Renata, Rodrigo, Marcos e Aroldo, pelo apoio e colaboração nos trabalhos realizados na granja do Departamento de Zootecnia (DZO).

Aos alunos do curso de Mestrado em Zootecnia, Regina, Marcelle, Sandra pelo incentivo nos trabalhos realizados.

Às amigas Elisa e Patrícia pelo total apoio e incentivo, estando sempre presentes nos momentos mais difíceis da execução deste trabalho e que, além disso, me ensinaram grandes lições na arte de viver.

A todos os amigos, professores e funcionários que por acaso tenha me esquecido de mencionar, mas que serei eternamente grato pela convivência e colaboração.

BIOGRAFIA

Anderson de Almeida Barbosa, filho de Paulo Antônio Barbosa e Célia de Almeida Barbosa, nascido em 17 de junho de 1962 na cidade de Além Paraíba, Minas Gerais. Em março de 1980 iniciou o curso de graduação em Medicina Veterinária, na Universidade Federal de Viçosa, Minas gerais, colando grau em julho de 1985. Em março de 2004 iniciou o curso de mestrado em Bioquímica Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de tese no dia 29 de julho de 2005.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Tecido ósseo	5
2.1.1. Matriz extracelular	6
2.1.2. Células do tecido ósseo	10
2.1.2.1. Osteoblastos	10
2.1.2.2. Osteócitos	11
2.1.2.3. Osteoclastos	11
2.1.2.4. Células osteoprogenitoras	12
2.1.3. Ossificação	12
2.1.3.1. Ossificação endocondral	13
2.1.3.2. Ossificação intramembranosa	14
2.1.4. Minerais	14
2.1.5. Aspectos físicos	16
2.1.6. Aspectos biomecânicos	17
2.1.7. Principais desordens ósseas em frangos de corte	20
2.1.7.1. Deformidades rotacionais e angulares	21
2.1.7.2. Discondroplasia tibial	22
2.1.7.3. Condrodistrofia	23
2.1.7.4. Necrose da cabeça do fêmur	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Animais, manejo e instalações	25
3.2. Delineamento experimental	27

3.3. Variáveis avaliadas	27
3.3.1. Aspectos mecânicos	28
3.3.2. Aspectos químicos	31
3.3.3. Aspectos bioquímicos	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Efeitos do cruzamento	34
4.1.1. Aspectos físicos e da composição óssea	34
4.1.2. Aspectos mecânicos	43
4.2. Efeitos do sexo	49
4.2.1. Aspectos físicos e da composição óssea	49
4.2.2. Aspectos mecânicos	57
5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	71

RESUMO

BARBOSA, Anderson de Almeida, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005. **Aspectos químicos, bioquímicos, físicos e mecânicos de fêmures de frangos de corte.** Orientador: George Henrique Kling de Moraes. Conselheiros: Conrado de Souza Rodrigues, Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo e Cláudio Lísias Mafra de Siqueira.

Foi realizado um experimento com o objetivo de determinar aspectos bioquímicos, químicos, físicos e mecânicos dos fêmures de frangos de corte oriundos de três cruzamentos, dois da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e um comercial. Foi avaliado o peso vivo das aves, e dos fêmures foram avaliados o peso, comprimento, densidade, porosidade, teores de cinzas e minerais. Também foram avaliados a área da seção transversal, momento de inércia, carga máxima na flexão, resistência à flexão e tenacidade dos referidos ossos. O período abrangeu de 21 a 42 dias de idade. Foram utilizados 600 pintos de um dia de idade, machos e fêmeas, alojados em boxes de piso de cimento forrado com cepilho de maravalha. Os três cruzamentos receberam as mesmas rações dentro dos períodos: inicial (1 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias), calculadas para atender as exigências nutricionais das aves. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2 (três cruzamentos e dois sexos), 10 aves por unidade experimental (boxe) com cinco repetições para cada sexo. Aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, foram amostrados aleatoriamente um macho e uma fêmea por boxes, num total de 5 boxes por cruzamento. O cruzamento comercial apresentou taxa de crescimento superior aos cruzamentos da UFV, e seus fêmures sofreram alterações em sua geometria (área da seção transversal) como forma de adaptação ao maior peso das aves. Mas quando

comparamos as propriedades químicas, bioquímicas e mecânicas com os cruzamentos da UFV, verificamos que a resistência óssea deste cruzamento não foi superior à dos demais cruzamentos e, caso sejam incorporados novos incrementos de ganho de peso sem a devida preocupação com a resistência óssea, os problemas de pernas poderão se agravar. Os machos mostraram taxa de crescimento superior as fêmeas, mas tiveram propriedades químicas e físicas semelhantes e, principalmente, tiveram propriedades mecânicas inferiores (MOR) que representa uma propriedade intrínseca do osso correndo mais riscos de desenvolver problemas de pernas que as fêmeas. Sendo assim, a continuidade do processo de melhoramento genético para ganho de peso sem se correlacionar sexo com características ósseas, pode resultar no aumento da ocorrência de problemas ósseos estruturais, principalmente em machos.

ABSTRACT

BARBOSA, Anderson de Almeida, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July of 2005. **Chemical, biochemical, physycal and mechanical aspects of broilers fêmur bones.** Adviser: George Henrique Kling de Moraes. Committee members: Conrado de Souza Rodrigues, Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo and Cláudio Lísias Mafra de Siqueira.

An experiment was carried out with the objective to determine biological, chemical, physical and mechanical aspects of femurs from three genetical crossings broiler chicks. Two crossings were form the Federal University of Viçosa (UFV) and one was a commercial one. The chick weights and femur bones were evaluated. Femur ashes content, ash minerals content, length, density, porosity were also evaluated. Femur mechanical characteristics as the area of transversal section, moment of inertia, maximum load, strength, stiffness and toughness in bending of the bones were studied. The experimental period was from 21 the 42 days of age. Six hundred day old chicks, males and females, were reared in box with cement floor covered with wood shaving. The three crossings chicks received the same rations in each following periods: starter (1 to 21 days), grower (22 to 35 days) and finisher (36 to 42 days). The rations were formulated to satisfy their nutritional requirements in each phase. The experimental design was a completely randomized, in a factorial arrangement of treatments (three crossings and two sexes) with five replicates and 10 birds per experimental unit. At 21, 28, 35 and 42 days of age, one male and one female per box were randomized collected making five replicates per crossing. The commercial crossing grew at the faster rate than both the UFV crossings. Commercial femurs showed alterations in their geometry (area of the transversal section) to adapted to the biggest weight of

the birds. When the chemical, mechanical, biochemical properties were associated with the crossings studied, it was verified that the commercial crossing bone were not stronger than those from the UFV. If new increments are incorporated to improve weight gain without controlling bone resistance, leg problems can be aggravated. Males had showed higher growth than females. Male and female bones had the same chemical and physical properties, but male bones had lower mechanical properties (MOR), which represents an intrinsic property of the bone, that can increase the risks to develop male leg problems. Thus, the genetical improvement of weight gain without the correlation with sex and bone characteristics, can result mainly in the increase of the occurrence of structural bone problems in males.

1. INTRODUÇÃO

A avicultura industrial de corte no Brasil tem despontado como uma das que mais cresce nas três últimas décadas e o êxito destes resultados é fruto de avanços significativos nas pesquisas sobre práticas de manejo, nutrição e principalmente, programas de melhoramento genético (Araújo et al. 2002). A avicultura de corte no Brasil produziu cerca de oito milhões de toneladas de carne de frango em 2003, representando 16,4% da produção mundial. Também, o consumo de 35,1 kg de carne de frango por habitante anualmente, coloca o país entre aqueles de maior utilização do produto (Aves e Ovos, 2004).

Na década de 60, os programas de melhoramentos genéticos enfocavam seus trabalhos na obtenção de frangos de corte com um maior peso vivo, já que esta característica tinha grande importância econômica, sendo de fácil mensuração e com boa resposta à seleção de massa muscular. A crescente exigência do mercado buscando uma proteína animal de melhor qualidade e menor custo tornou os critérios de seleção cada vez mais complexos. O melhoramento genético permitiu à indústria avícola comercializar aves mais pesadas em um menor período de tempo (Sakomura et al.1997). Durante as últimas três décadas, o peso vivo aumentou 30% e a idade de abate reduziu 27% (Aviagen, 2004). Em 1976, um frango atingia 2 quilos em 63 dias, já em 2007, a previsão é de que ele chegue a este peso em 33 dias. Uma das características importante neste novo cenário é a viabilidade das linhagens (Avicultura Industrial, 2003).

A locomoção é parte central das atividades vitais que levam saúde e bem estar às aves, e a rigor, não deveriam ser prejudicadas pelas disfunções estruturais com conseqüente desconforto e dor (Freitas, 2001).

A seleção genética constante e a melhoria na nutrição vêm fazendo com que o frango de corte atinja o peso de abate cada vez mais cedo. Essa taxa de crescimento precoce é acompanhada por numerosos problemas, tais como: aumento da deposição de gordura corporal, alta incidência de doenças metabólicas e desordens no sistema locomotor. As anormalidades de locomoção são endêmicas e comumente referidas como fraqueza de pernas, com incidência e severidade variando entre as diversas linhagens (Zubair e Leeson, 1996).

Esses tipos de problemas são mais comumente observados durante a metade final do crescimento e são provavelmente em função do aumento de ganho de peso e do desenvolvimento desproporcional do músculo do peito, criando um desequilíbrio esquelético-biomecânico (Lilburn, 1994).

Uma categoria mais geral de problemas de pernas consiste de problemas estruturais que levam à distorção de ossos longos e às deformidades rotacionais e angulares, como: Valgus e Varus, torção de pernas, rotação da tíbia, discondroplasia tibial, condrodistrofia, necrose da cabeça do fêmur, entre outros. Nestor et al. (1985) postularam que o aumento de peso corporal e o desenvolvimento de músculo do peito sem desenvolvimento concomitante de músculo e ossos da perna são biologicamente incompatíveis com a manutenção da habilidade de locomoção normal. Nestor et al. (1991) observaram que a seleção de determinada linhagem para ganho de peso

resultou em aumento do músculo do peito e em diminuição relativa dos ossos longos das pernas.

A produção avícola comercial então se depara com um novo problema, no qual as anormalidades de pernas resultantes deste processo são responsáveis por baixa performance no crescimento, aumento da mortalidade, aumento da rejeição de carcaça, o que em conjunto resulta em uma redução da eficiência da produção comercial. Pesquisa conduzida em 1993 estimou as perdas causadas por defeitos esqueléticos, resultando em morte e condenação de carcaça em 3,2% (Sullivan,1994). Yogaratnam (1995), ao analisar as principais causas de altos índices de rejeição de carcaça de aves, observou que 19,5% das carcaças rejeitadas sofriam de definhamento, provavelmente resultante de problemas de pernas que causam imobilidade e contribuem também para o aparecimento de lesões da pele e articulações, também o aumento na incidência de fragmentos ósseos em produtos desossados e o escurecimento da carne adjacente ao osso devido ao extravasamento do sangue da medula estão relacionados com a fragilidade e porosidade óssea, tornando o produto menos atrativo ao consumidor.

O desenvolvimento de programas práticos que reduzam estes problemas sem afetar negativamente a eficiência final da produção é um constante desafio para a indústria avícola. Há evidências de que vários tipos de fraquezas de pernas são herdados e, portanto, são extremamente responsivos à seleção genética (Emmerson et al, 1991). Havenstein (1994) citado por Julian (1998), observou que defeitos esqueléticos estavam praticamente ausentes em linhagens de crescimento mais lento. Kestin (1992), estudando diferentes linhagens de frangos quanto à susceptibilidade aos problemas de pernas,

constatou que fatores genéticos contribuíram para as diferenças observadas entre as linhagens estudadas. Sorensen (1992), citado por Kestin et al (1999), concluiu que a correlação genética entre taxa de crescimento e problemas de pernas é positiva, mas não de forma que impeça de se trabalhar para diminuir a incidência de problemas de pernas e a taxa de crescimento simultaneamente.

Torna-se então importante considerar além de ganho de peso, outras características desejáveis relacionadas à resistência óssea, tão bem, como outros fatores associados, no sentido de propor novas estratégias para reduzir e até mesmo eliminar os problemas de pernas. Neste contexto, robustez do esqueleto passa ser uma característica importante que deve ser mensurada para auxiliar na avaliação da viabilidade da linhagem e eliminação de animais que tenham menor chance de adaptação e sobrevivência às novas condições de crescimento.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Tecido Ósseo

O osso era reconhecido como um órgão estático que tinha apenas função mecânica de sustentação do corpo do animal, não se conhecia sua complexidade estrutural. Hoje sabemos que é constituído de vasos sanguíneos, nervos e que possui capacidade de se regenerar quando sofrer alguma injúria, ou for acometido por processos patológicos. O osso está intimamente relacionado com o crescimento do animal, sofrendo adaptações constantes quanto à sua constituição, podendo estar hipertrofiado quando é mais exigido, ou atrofiado quando em desuso (Bertram, Biewener, 1994). Serve de reserva metabólica de cálcio e fósforo ao organismo, os quais podem ser mobilizados durante alterações da homeostase (Macari et al, 2002). O osso é um tecido dinâmico, complexo, influenciado por fatores fisiológicos, nutricionais e físicos, como stress mecânico e atividades físicas (Bertram, Biewener, 1994). Para atender às necessidades de crescimento do organismo os ossos sofrem processo de modelagem, que representa o alongamento longitudinal e do diâmetro. Já a remodelagem é o termo usado para descrever processos de reabsorção e formação de tecido mineralizado que mantém a massa óssea e a morfologia nas aves adultas (Tardin,1995). Tem-se que, de modo geral, a manutenção de concentrações adequadas de cálcio no sangue são prioritárias sobre a manutenção da integridade estrutural do osso (Johnson, 2000). Alguns fatores tais como: sexo (Rath, 1999), idade das poedeiras (Yalcin, 2001), taxa de crescimento (Leterrier,1998), diferentes cruzamentos comerciais (Sorensen,1999) e nutrição (Edwards,2000) têm sido associados às diferenças

de qualidade do osso. As propriedades químicas, físicas, biomecânicas têm sido utilizadas como parâmetros para avaliação da qualidade óssea (Leterrier, 1992).

2.1.1. Matriz Extracelular

O osso é um tecido metabolicamente ativo, multifuncional, constituído de uma matriz orgânica mineralizada com diversos elementos celulares imersos. A matriz extracelular é composta por colágeno em sua maior parte e pela substância fundamental. O colágeno é encontrado em todos os tecidos do corpo sendo uma proteína fibrosa sintetizada por fibroblastos e células relacionadas, tais como os condroblastos da cartilagem e os osteoblastos do osso. A formação de fibrilas de colágeno envolve reações no meio intracelular e extracelular. No interior da célula ocorre síntese de moléculas de protocólagenos, hidroxilação de resíduos de prolina e lisina e glicosilação dos resíduos de hidroxilisina, para formar monômeros de pró-colágeno sendo secretado para o exterior da célula na forma de tripla hélice de configuração helicoidal. No exterior da célula, há uma hidrólise proteolítica limitada do pró-colágeno, para formar o tropocolágeno, sendo necessária para que ocorra a hidroxilação a presença de vitamina C (Swenson, 1988). Já foram identificados 19 tipos de colágenos que possuem diferentes especificidades entre os diversos tecidos animais. Eles podem ser classificados com base em suas funções e tamanhos. Na cartilagem há o predomínio do colágeno fibrilar tipo II, enquanto que o osso é composto de colágeno fibrilar tipo I, podendo os dois tipos ser encontrados em tecidos sujeitos ao estresse de compressão e tensão.

Eles formam uma rede fibrilar na matriz extracelular que são estabilizadas pela formação de ligações cruzadas intra e intermoleculares, formadas tanto enzimaticamente quanto não enzimaticamente, por condensação de resíduos de aminoácidos. Tais ligações cruzadas são as principais responsáveis pela estabilização da molécula e das fibras de colágeno e pela modulação das propriedades de resistência à tração conferida ao osso pelo colágeno, conferindo força ao tecido para suportar tais pressões. Todos os tipos de colágeno são caracterizados por uma tripla hélice de cadeias α contendo de 600 a 3.000 resíduos de aminoácidos. Essas cadeias contêm seqüências repetidas de Glicina - X - Y, onde X e Y podem ser quaisquer aminoácidos. Mas, freqüentemente ocorre um grande número de resíduos de prolina e hidróxiprolina (Velleman, 2000). Alterações na síntese ou na organização das fibras do colágeno afetam as propriedades de resistência do osso. Experimentos têm demonstrado que a tenacidade e resistência do osso diminuem significativamente com a desnaturação do colágeno, evidenciando o papel da rede de colágeno nestas propriedades (Wang et al. 2001) e (Currey. 2003a).

O osso é constituído aproximadamente por 70% de minerais, 20% de matriz orgânica e cerca de 10% de água, o que o diferencia de outros tecidos conjuntivos menos rígidos (Rath et al. 2000). A matriz mineral ou inorgânica é formada predominantemente por cálcio (Ca) e fósforo (P) na forma de cristais de hidroxiapatita, $(Ca_3(PO_4)_2)$, constituindo aproximadamente 60 a 70% do peso do osso e sendo responsável pelas propriedades de rigidez e resistência à compressão (Rath et al. 2000). Além da hidroxiapatita, que compõe 80% da fase mineral, outros minerais também são encontrados, como o carbonato de

cálcio (CaCO_3), 13%, e o fosfato de magnésio ($\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$), 2%, (Field. 2000). Os constituintes minerais do osso são trocados constantemente com os constituintes do plasma. Já a desmineralização do osso ocorre quando a ingestão de minerais é inadequada ou quando sua perda é excessiva. A ossificação envolve a precipitação dos sais do osso na matriz, por meio de um equilíbrio físico-químico, envolvendo o Ca^{2+} , o HPO_4^{2-} e o PO_4^{3-} . Em condições fisiológicas, o cálcio e o fosfato ficam em solução metaestável, isto é, suas concentrações no líquido extracelular seriam suficientemente altas para que se precipitassem em solução, não fosse pela presença de outros constituintes; particularmente o pirofosfato, que estabiliza a solução (Tardin. 1995).

A substância fundamental fica dispersa entre as fibras de colágeno do tecido, é contínua com o líquido intersticial e apresenta vários graus de condensação, sendo conhecida como o componente amorfo extracelular e interfibrilar de todo tecido conjuntivo. Consistem principalmente em polissacarídeos protéicos (sulfato de condroitina), glicoproteínas, proteína não estrutural, eletrólitos e água (Swenson. 1988) Os proteoglicanos são macromoléculas compostas por uma proteína central com carboidratos ligados covalentemente a ela, (Velleman. 2000). São carregadas negativamente, amorfas, sulfatadas e se caracterizam por formar géis capazes de reter grandes quantidades de água em suas matrizes (De Robertis. 2003), sendo de fundamental importância na formação, estrutura e função biológica da cartilagem.

As proteínas não colagenosas contribuem para uma variedade de funções no osso como estabilização da matriz, calcificação e outras atividades regulatórias do metabolismo (Rath et al. 2000). Algumas dessas proteínas não

colagenosas (PNC) são proteínas plasmáticas que foram seqüestradas pela matriz mineral e outras são proteínas específicas do osso, sintetizadas por células ósseas. As PNC mais abundantes do osso são a osteonectina e a osteocalcina ou Gla proteína. A osteocalcina é uma proteína específica do osso, representando 10 a 20% do total das PNC. Ela contém três resíduos de γ -carboxiglutamato, que é um aminoácido resultante de modificações pós-traducionais por uma reação de carboxilação dependente de vitamina K, que confere à molécula uma alta afinidade pelo cálcio nos cristais ósseos. Ela é sintetizada exclusivamente por osteoblastos e se liga tanto à hidroxiapatita quanto ao cálcio (Raif e Harmand. 1993). Sua síntese é aumentada pela 1,25-diidroxivitamina D e sua concentração é diretamente proporcional à concentração de cálcio. A osteocalcina parece estar envolvida no controle do processo de mineralização do osso, prevenindo a mineralização excessiva (Young. 2003). Uma pequena fração de osteocalcina não é incorporada ao osso, mas liberada na circulação, onde pode ser usada como medida da formação óssea (Delmas et al. 1985). A osteonectina é uma glicoproteína fosforilada específica do osso com 32.000 daltons, representa 23% das PNC. Ela apresenta alta afinidade pelo cálcio, hidroxiapatita e colágeno tipo I (Raif e Harmand. 1993). Alguns trabalhos têm sugerido que a osteonectina é uma proteína tecido-específica, ligando a fase mineral e o colágeno do osso, talvez iniciando a mineralização ativa em tecidos esqueléticos normais (Fujisawa et al. 1996), e parece atuar como regulador negativo do crescimento do cristal (Roach. 1994).

2.1.2. Células do Tecido Ósseo

A população heterogênea de células que incluem condrócitos, osteoblastos, osteócitos, células endoteliais e células hematopoiéticas, entre outras, produzem diversos hormônios calciotrópicos sistêmicos, como hormônio da paratireóide (PTH), estrógeno, 1,25(OH)₂ colecalciferol (vitamina D₃), uma variedade de reguladores biológicos que controlam o metabolismo ósseo local, autócrinos e parácrinos, incluindo citocinas, prostaglandinas (PGs), e fatores de crescimento que atuam em conjunto regulando as atividades celulares de modelamento do osso, aumentando o comprimento e o diâmetro (Seifert e Watkins, 1997).

2.1.2.1. Osteoblastos

São células diferenciadas que produzem a matriz óssea, secretando colágeno e a substância fundamental, que constituem o osteóide e situam-se em aposição ao osso em formação. Essas células também participam da calcificação da matriz, através da secreção de pequenas vesículas ricas em fosfatase alcalina para o interior desta, somente durante o período em que a célula está produzindo a matriz óssea (Ross & Rowrel, 1993). A fosfatase alcalina cliva o pirofosfato e assim remove sua influência estabilizadora, ao mesmo tempo em que, aumenta a concentração local de fosfato, que promove a cristalização, além disso, durante o crescimento ósseo e talvez durante a remodelagem do osso adulto, os osteoblastos secretam vesículas ricas em cálcio para o osteóide em calcificação (Jonhson, 2000). Pelo fato dessa enzima

poder se difundir para o sangue, o nível sangüíneo de fosfatase alcalina óssea é geralmente usada como indicador da taxa de formação óssea.

2.1.2.2. Osteócitos

Representam as células ósseas maduras e correspondem a um osteoblasto transformado. São responsáveis pela manutenção da matriz óssea, sintetizando-a e reabsorvendo-a até certo ponto. Cada osteócito ocupa um espaço ou lacuna que se amolda à sua forma lenticular. Os osteócitos estendem seus prolongamentos citoplasmáticos através de canaliculos situados na matriz óssea para entrar em contato com prolongamentos de células vizinhas.

2.1.2.3. Osteoclastos

São responsáveis pela reabsorção óssea. São grandes células que surgem pela fusão de células mononucleadas e podem ter até 50 núcleos. Acredita-se que os precursores dos osteoclastos se originem na medula óssea e migrem pela circulação, a partir do timo e outros tecidos retículo-endoteliais, para os sítios do osso destinados à reabsorção. Os precursores mononucleados dos osteoclastos são provavelmente atraídos para os sítios de reabsorção óssea por produtos parcialmente degradados do osteóide. A parte do osteoclasto que entra em contato com o osso se apresenta altamente pregueada e é chamada de borda estriada. A borda estriada varre a superfície do osso, continuamente alterando sua configuração, à medida que libera ácidos e enzimas hidrolíticas que dissolvem a matriz protéica e os cristais de

minerais. Quando a reabsorção é completada, os osteoclastos são inativados e perdem alguns de seus núcleos. A inativação compreende a fissuração da célula polinucleada gigante, de volta a células mononucleadas (Johnson, 2000).

2.1.2.4. Células Osteoprogenitoras

São consideradas células em repouso ou de reserva que podem ser estimuladas para se transformar em osteoblastos e produzir matriz óssea. Compõe a população celular presente na camada mais interna do periósteo, as células endósteas de revestimentos das cavidades medulares e as células de revestimento dos canais de Havers e de Volkmann (Ross & Rowrell, 1993).

2.1.3. Ossificação

Há dois processos básicos de formação do tecido ósseo: a ossificação endocondral e a intramembranosa. O desenvolvimento do osso é classificado como endocondral, no caso de um modelo de cartilagem servir de precursor do tecido ósseo que será formado, ou intramembranoso, se o osso for formado sem a intervenção de um precursor cartilaginoso. Nos ossos chatos predominam o desenvolvimento por ossificação intramembranosa e os curtos e longos se desenvolvem pelo processo endocondral (Macari, 1994).

2.1.3.1. Ossificação Endocondral

Os principais eventos fisiológicos da ossificação endocondral podem ocorrer em menos de 24 horas, durante o pico de crescimento dos frangos de corte, sendo estes a proliferação dos condrócitos, produção da matriz extracelular, hipertrofia dos condrócitos, calcificação da matriz, invasão vascular, degradação da matriz e formação primária dos ossos. Os condrócitos ativos passam pelos estágios de proliferação, diferenciação e apoptose, antes dos vasos sanguíneos penetrarem nas lacunas remanescentes (Murakami, 2000).

Na seqüência de eventos ocorrem proliferação e agregação de células mesenquimais no local do futuro osso, para que ocorra crescimento longitudinal na placa epifisária que liga as regiões da epífise e diáfise dos ossos. Primeiramente as células do pericôndrio passam a dar origem a células formadoras de osso, recebendo então a denominação de perióstio. Tendo formado o perióstio, os condrócitos dessa região do modelo cartilaginoso tornam-se hipertróficos e à medida que essas células vão crescendo, sua matriz cartilaginosa circundante vai ficando alongada, formando placas cartilaginosas finas e irregulares entre as células hipertróficas, que começam a sintetizar fosfatase alcalina e, concomitantemente, a matriz cartilaginosa vai sofrendo calcificação. A matriz, quando calcificada, impede a difusão de nutrientes, causando, por fim, a morte dos condrócitos. Com a decomposição de parte da matriz, formam-se cavidades que passam a ser irrigadas por vasos sanguíneos. À medida que os vasos sanguíneos penetram e crescem na cavidade, outras células provenientes do perióstio migram ao longo deles.

Algumas dessas células primitivas tornam-se osteoprogenitoras enquanto outras originam a medula óssea. Quando a cartilagem é decomposta, parte dela permanece como espículas irregulares. As células osteoprogenitoras entram em aposição com as espículas da cartilagem calcificada remanescente, transformando-se em osteoblastos e passando a depositar matriz óssea sobre a estrutura espicular (Ross & Rowrell, 1993).

2.1.3.2. Ossificação Intramembranosa

Nesse processo, há um centro de ossificação que é circundado pelos osteoblastos para a deposição de osso. O processo progride deste centro para a periferia do futuro osso, produzindo uma rede de trabéculas ósseas que se espessam e fundem-se formando uma lâmina óssea que é separada dos ossos adjacentes por tecido fibroso persistente. A parte superficial do tecido original torna-se perióstio; sobre a face profunda deste, camadas sucessivas de osso perióstico são formadas pelos osteoblastos até que o osso atinja sua espessura definitiva. O aumento na circunferência resulta da ossificação do tecido fibroso circunjacente, que continua a crescer até o osso atingir seu tamanho definitivo (Guyton, 1997).

2.1.4. Minerais

O cálcio encontra-se localizado principalmente no osso (90%), no fluido extracelular e nas células (10%) onde desempenha importantes funções fisiológicas. Na ave o cálcio é o mineral mais abundante, onde o osso funciona como um grande reservatório (Macari. 2002).

O cálcio é absorvido no intestino delgado e sua concentração plasmática é mantida pela ação dos hormônios 1,25-dihidróxicolecalciferol (vitamina D₃), calcitonina e hormônio da paratireóide (PTH), que controlam sua absorção, excreção e o metabolismo ósseo (Henry. 1995).

A resistência óssea é dependente dos níveis de cálcio plasmáticos, pois, a homeostase de cálcio é fundamental para manutenção das funções vitais em que ele participa. Caso não se tenha níveis adequados de cálcio, ocorrerá estímulo da secreção de PTH e síntese de vitamina D, que estimularão a reabsorção óssea (Rath et al. 2000).

Embora a porcentagem de cinzas dos ossos varie com a idade, o teor de cálcio, que é o seu maior constituinte, se mantém relativamente constante, variando pouco entre espécies e localização anatômica dos ossos (Field. 2000).

O fósforo juntamente com o cálcio forma a hidroxiapatita, que é o principal componente da matriz inorgânica do osso. Também participa das funções celulares como componentes de fosfolipídios da membrana celular, dos ácidos nucleicos, do transporte de energia e da regulação da atividade de várias enzimas (Henry. 1995). A absorção do fósforo ocorre no intestino delgado, principalmente no duodeno. Seus níveis sanguíneos, assim como os do cálcio, são controlados pelo PTH, vitamina D e calcitonina e a relação cálcio e fósforo da dieta parece ter influência na absorção deste mineral (Macari. 2002).

Apesar de variações na relação Ca:P, a carga de ruptura dos ossos não foi afetada sugerindo que a geometria do osso e a proporção de colágeno

e mineral seriam mais importantes para resistência do que a forma exata do cristal (Williamns et al, 2000b).

A insuficiente suplementação na dieta de cálcio e fósforo, ou o excesso de cálcio reduzem a taxa de crescimento da ave e a mineralização óssea, também, reduzindo o conteúdo de cinzas nos ossos (Bar et al. 2003).

2.1.5. Aspectos físicos

Nas aves de corte, o crescimento acelerado dos ossos não permite que ocorra uma mineralização adequada, sendo que esses ossos mais imaturos apresentam maior porosidade, e conseqüentemente, menor densidade (Williamns et al. 2000a e 2004; Yalçin et al, 1998). A forma com que o esqueleto se adapta às altas taxas de crescimento é fazendo com que os ossos aumentem de dimensões (comprimento e área da seção transversal) mais rapidamente. Entretanto, acarretando em menor resistência mecânica e maior propensão às fraturas (Currey. 1999).

Embora alguns pesquisadores tenham reportado diferenças na composição e resistência óssea em relação a raças de crescimento lento e rápido (Leterrier et al, 1992), a mesma diferença não foi observada entre linhagem comerciais de corte, muito provavelmente, porque elas guardam entre si uma proximidade genética muito grande (Yalcin. 2001); mas, Leterrier et al (1998), em um experimento onde uma dieta de baixa energia foi empregada, em aves de corte de mesma origem genética, reduzindo a taxa de crescimento observou uma estreita relação entre o desenvolvimento do esqueleto e a taxa de crescimento. Nas aves que ganharam menos peso (cresceram mais

lentamente), os ossos avaliados apresentaram menor comprimento e menor área da seção transversal quando comparadas às aves cuja dieta mais energética produziu uma taxa de crescimento superior, mostrando que a taxa de crescimento dos animais é fator preponderante com relação às alterações da estrutura óssea.

Rose et al, (1996), comparando as diferenças entre machos e fêmeas com relação ao crescimento cortical do osso, histomorfometria, composição e propriedades biomecânicas, perceberam que fêmeas, de um modo geral, crescem menos, apresentam ossos menores, com menor volume e área da seção transversal, mas apresentam melhores propriedades físicas como menor porosidade e maiores teores de cinzas, bem como menor incidência de problemas de pernas.

2.1.6. Aspectos biomecânicos

A resistência óssea pode ser avaliada através de suas propriedades mecânicas, ou biomecânicas, obtidas a partir de ensaios onde o osso passa a ser avaliado sob a ótica da engenharia. Uma vasta gama de propriedades pode ser determinada a partir de diferentes ensaios mecânicos. Dentre os ensaios básicos, podem ser citados os de tração, compressão e flexão (Turner e Burr, 1993).

No caso dos componentes ósseos de forma predominantemente cilíndrica, como os fêmures deste estudo, as propriedades biomecânicas têm sido determinadas principalmente a partir de testes de flexão, cujos procedimentos são padronizados pela Sociedade Americana de Engenharia

Agrícola (ANSI/ASAE S459-98). Neste tipo de ensaio de flexão, o arranjo mais comum ocorre com o osso disposto sobre dois apoios a uma distância definida e a carga (ou força F) aplicada no ponto médio entre eles. Sob a força aplicada de forma contínua, o osso sofre deflexão (δ) e o seu comportamento em teste é descrito por uma série de pares de pontos, (F) vs. (δ). Estes pontos formam uma curva de carregamento (Figura 1), a partir da qual são determinadas as propriedades mecânicas.

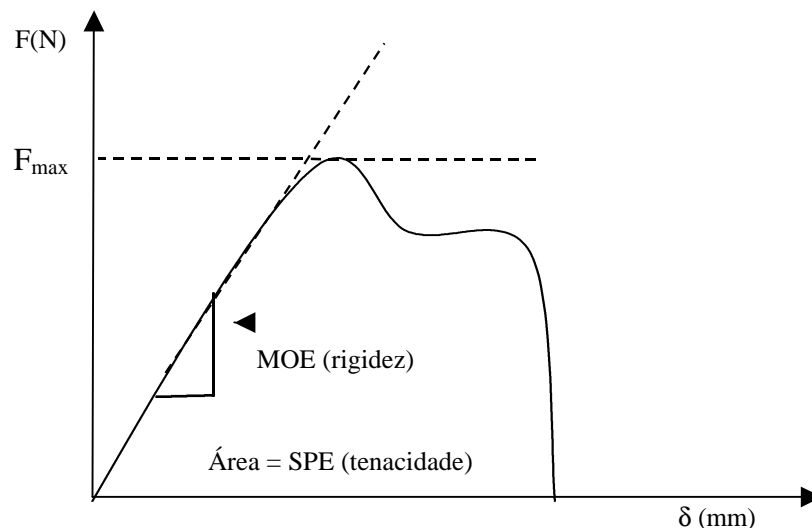


Figura 1 – Curva força versus deflexão

Esta curva pode ser dividida em duas regiões: a região de deformação elástica e a região de deformação plástica. Na região elástica o osso imita uma mola, deformando-se linearmente com o aumento da carga, e se retirada esta carga, o osso tem a capacidade de retornar à sua forma original; naturalmente o osso não se comporta como uma mola perfeita, pois, a presença de líquido na matriz gera um efeito de viscosidade, que faz com que parte da energia seja perdida, mas a comparação pode ser feita, pois a aproximação é muito boa. A inclinação da curva na fase elástica representa a rigidez intrínseca do osso,

caracterizada pelo módulo de elasticidade (MOE), que define o grau de deformação do material ao carregamento. Ultrapassada a carga limite da fase linear (limite de proporcionalidade), parte das deformações passam a ser permanentes, características da deformação plástica. Nesta fase do carregamento, o osso, apesar de irreversivelmente alterado, pode continuar absorvendo energia e se deformar até ocorrer a fratura definitiva (Turner e Burr. 1993).

A força máxima é resultado tanto da composição quanto da geometria específica do material testado, e não representa, por si só, a resistência suportada por um material. A determinação da resistência intrínseca de um material leva em consideração tanto a força máxima suportada por ele, quanto à geometria deste, bem como o arranjo adotado no teste mecânico. A maneira como a forma de um material influencia sua resistência mecânica é caracterizada pelo momento de inércia (I), que expressa a distribuição da área ao redor da região onde a carga está sendo aplicada. Desta forma, objetos de um mesmo material cujas seções transversais possuem mesma área, mas com formas distintas, apresentarão valores diferentes de carga de ruptura, sendo as diferenças expressas pelos momentos de inércia destes objetos (Turner e Burr. 1993).

A medida da quantidade de energia necessária para causar a fratura do osso na flexão é denominada de tenacidade na flexão (SPE) e é calculada pela área sob a curva (incluindo região elástica e plástica). Essa propriedade é muito importante em biomecânica porque um osso mais tenaz pode ser mais resistente à fratura mesmo que a carga máxima que ele resista seja menor (Turner e Burr. 1993).

Tem sido demonstrado que as duas regiões da curva parecem sofrer influências por elementos diferentes; sendo o colágeno o constituinte que contribui com a tenacidade do tecido ósseo e os minerais com a elasticidade (Currey. 2003a). Wang et al (2001) demonstraram que a desnaturação do colágeno por calor resultou em diminuição da tenacidade na flexão e da resistência sem alterar o módulo de elasticidade. Currey (2003b) demonstrou também que quanto maior o teor de elementos minerais, maior o módulo de elasticidade, ou seja, maior a rigidez do osso, porém, observou que o aumento da rigidez torna o osso mais frágil, mais susceptível às pequenas trincas Sugere ainda que o conteúdo mineral seja o principal determinante das diferenças observadas nas propriedades mecânicas entre os ossos.

2.1.7. Principais desordens ósseas em frangos

A seleção genética e o desenvolvimento da nutrição vêm fazendo com que o frango de corte atinja o peso de abate cada vez mais cedo. Essa taxa de crescimento aumentada tem gerado alguns problemas: aumento da deposição de gordura corporal, alta incidência de doenças metabólicas e desordens no sistema locomotor. As anormalidades de locomoção são endêmicas e comumente referidas como fraqueza de pernas, com incidência e severidade variando entre as diversas linhagens (Zubair & Leeson, 1996). Além do crescimento rápido, predisposição genética, Freitas e Nunes, (2001) relacionam fatores diversos que incluem, deficiências nutricionais, toxinas, infecções e impropriedade de manejo. De um modo geral, as aves que são acometidas por estes problemas apresentam dificuldade de locomoção, sente

dores, desconforto físico com restrições de comportamento tendo sua taxa de crescimento reduzida (Yalçin et al, 1998). Desta forma, os problemas de pernas, além de causarem deformidades ósseas e aumentarem o risco de fraturas e infecções, diminuem o desempenho no crescimento e aumentam a mortalidade e as condenações de carcaça (Rath et al, 1999).

Mercer e Hill (1984) demonstraram que há uma correlação genética positiva entre o peso vivo das aves e os problemas de pernas, e de acordo com Julian (1998), os problemas de pernas apresentam maior correlação com o peso vivo e com a imaturidade do sistema ósseo do que com o próprio crescimento rápido. Sendo esta observação confirmada por Rath et al, (2000) que demonstraram que o osso demora mais tempo para atingir a maturidade, isto é, seu máximo potencial físico e mecânico, do que gasta para crescer, ou seja, o desenvolvimento e a maturidade do osso não acompanham a taxa de crescimento, resultando em excesso de carga (peso) sobre ossos imaturos, predispondo a deformidade e fragilidade dos mesmos.

2.1.7.1. Deformidades Rotacionais e Angulares

As deformidades ósseas ocorrem quando o osso, durante o desenvolvimento, crescimento ou remodelagem, desvia da variação ou amplitude normal de rotação e, ou, angulação (Morrow et al, 1997). As deformidades rotacionais afetam principalmente perus, sendo caracterizadas por uma rotação no terço final do tibiotarso, desviando as patas lateralmente, geralmente sendo restrito a uma única perna (Newbrey et al, 1988). Já as deformidades angulares ocorrem em aves em crescimento e manifestam-se

como valgus (desvio lateral a partir da linha mediana) ou varus (desvio medial em direção a linha central). Traumas, excesso de peso e rápido crescimento podem acarretar falhas nos mecanismos que mantêm a torção dentro de parâmetros normais. Isto justifica a maior incidência de deformidades rotacionais em frangos alimentados à vontade do que naqueles submetidos à restrição alimentar (Duff & Thorp, 1985). Também fêmeas normalmente são menos susceptíveis ao desenvolvimento de deformidades ósseas do que os machos. Um estudo demonstrou que a ocorrência de valgus-varus nas fêmeas (8,85%) foi significativamente menor que nos machos (19,9%) (Rose et al, 1996).

2.1.7.2. Discondroplasia tibial (DT)

A discondroplasia é uma lesão comum na zona de crescimento ósseo em frangos de corte, perus e patos. Caracteriza-se pela persistência de uma massa cartilaginosa anormal na metáfise, logo abaixo da placa ou zona de crescimento, principalmente do tibiotarso. A incidência é influenciada pela genética, nutrição e manejo (Farquharson & Jefferies, 2000). A suplementação da dieta com 1,25 dihidróxicolecalciferol demonstrou ser eficiente na redução da incidência de discondroplasia tibial (Edwards Jr, 2000). O equilíbrio eletrolítico da dieta e a relação Ca:P podem alterar a incidência da discondroplasia tibial. Os efeitos da dieta sobre a incidência não parecem ser mediados via alterações químicas no sangue (Murakami, 2000).

Na discondroplasia não ocorre hipertrofia, mineralização, invasão vascular e remoção da cartilagem da placa de crescimento. A DT é um defeito

da ossificação endocondral que se caracteriza pelo acúmulo de projeções de cartilagens para dentro da metáfise, uma área que normalmente contém ossos trabeculares. Esta cartilagem origina-se na placa de crescimento e aparece como resultado de um defeito na vascularização e remoção dos condrócitos da placa de crescimento (Twal et al, 1996).

A extensão da lesão de DT é bem variável, pode ser uni ou bilateral, com igual incidência em ambas as pernas, podendo ser apenas uma área discreta abaixo do disco epifisário ou então ocupar toda a metáfise em largura e extensão, (Farquharson & Jefferies, 2000).

2.1.7.3. Condrodistrofia

Caracteriza-se pela rotação ou torção do metatarso de galinhas e perus, relacionados à deficiência de alguns minerais e vitaminas, particularmente o manganês e a colina. Ao corte histológico, observa-se uma desordem generalizada na cartilagem de conjugação dos ossos longos, havendo falhas na proliferação de condrócitos, provocando falha no crescimento longitudinal, enquanto que a mineralização e o crescimento aposicional permanecem constantes. Como resultado, ocorre um encurtamento dos ossos longos e inchaço da articulação tíbio-tarsal, ocasionando deformidade de angulação posterior (Wise, 1975).

2.1.7.4. Necrose da cabeça do fêmur

Osteonecrose significa morte do tecido ósseo e da medula óssea, sem relação com doença infecciosa, cujo substrato morfológico é o infarto ósseo. Os osteócitos desaparecem, e as lacunas ficam vazias e aumentadas de volume. A gordura medular necrótica sofre saponificação e calcificação distrófica, o que é responsável pelo aumento da densidade radiológica. Quando em localizações específicas, a osteonecrose recebe denominações diversas. Uma das mais comuns é a necrose avascular idiopática da epífise da cabeça femoral, tendo como lesão básica o infarto ósseo subcondral, (Bogliolo, 1994). Caracteriza-se pelo deslocamento da epífise femoral com etiologia multivariada. O quadro clínico envolve uma degeneração da cartilagem de conjugação e normalmente é secundário a um trauma ou discondroplasia (Wise, 1975).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Animais, manejo e instalações

O experimento foi conduzido na Granja de Melhoramento de Aves do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e compreendeu o período de 1 a 42 dias de idade das aves, mas as amostras foram coletadas dos animais no período de 21 a 42 dias de idade, correspondendo à metade final do crescimento. Foram utilizados 600 pintos de um dia de idade provenientes de dois híbridos da UFV (C1 e C2) e de uma marca comercial (C3), machos e fêmeas. Todos os animais foram identificados e separados por cruzamento, 200 pintos por grupo genético, vacinados contra Boudou Aviária e Marek, e distribuídos ao acaso em 60 boxes, sendo 20 boxes por cruzamento, cada boxe contendo 10 pintos, entre machos e fêmeas. Aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, foram tomados aleatoriamente um macho e uma fêmea por boxe, num total de 5 boxes por cruzamento, não repetindo os boxes amostrados nas idades.

O galpão continha os boxes com dimensões de 1,25 x 1,80 m, com piso de cimento e cobertos com cepilho de maravalha, sendo de alvenaria com pé direito de 3,0 metros de altura e coberto com telhas de cimento amianto com lanternim e laterais com muretas, sendo que para o controle da temperatura e de correntes de ar foram usadas cortinas plásticas.

Durante o experimento todas as aves receberam o mesmo tratamento, tendo sido adotado o programa de luz contínuo, com luz (natural + artificial), utilizando-se lâmpadas de 60 W. A ração e a água foram fornecidas à vontade.

Foram utilizadas três rações: ração inicial (1a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias), utilizadas pelo programa de melhoramento genético de aves do Departamento de Zootecnia da UFV e calculadas para atender as exigências nutricionais segundo Rostagno (2000), Tabela 1.

Tabela 1- Composição percentual das rações experimentais

Ingredientes (%)	Inicial (1 a 21 dias)	Crescimento (22 a 35 dias)	Final (36 a 42 dias)
Farelo de soja	38,9	33,6	28,31
Milho	53,48	59,07	65,24
Óleo de soja	3,10	3,6	3,10
Fosfato bicálcico	2,64	1,88	1,8
Calcário calcítico	0,83	0,89	0,84
DL-Metionina (99%)	0,24	0,21	0,14
L-Lisina	0,10	0,08	-
Sal comum	0,39	0,39	0,39
Cloreto de colina 60%	0,10	0,06	0,03
Mistura vitamínica ¹	0,10	0,10	0,10
Mistura mineral ²	0,05	0,05	0,05
Salomicina sódica 12%	0,06	0,05	-
Hidróxi Butil - Tolueno	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00
Composição calculada	Inicial (1 a 21 dias)	Crescimento (22 a 35 dias)	Final (36 a 42 dias)
Energia metabolizável (Kcal/g)	2960	3066	3125
Proteína Bruta (%)	22,30	20,37	18,48
Cálcio (%)	1,111	0,93	0,881
Fósforo disponível (%)	0,604	0,458	0,439
Lisina (%)	1,324	1,167	0,967
Metionina (%)	0,5822	0,529	0,434

¹ Níveis de garantia por quilo do produto: vitamina A – 10.000.000 UI; vitamina D3 – 2.000.000 UI; vitamina E – 30.000 UI; vitamina B1 – 2,0g; vitamina B6 – 4,0g; ac. Pantotênico – 12,0g; biotina – 0,10g; vitamina K3 – 3,0g; ácido fólico – 1,0g; ácido nicotínico – 50,0g; vitamina B12 – 15.000mcg; selênio – 0,25g e veículo q.s.p – 1.000g.

² Níveis de garantia por quilo de produto: manganês - 16,0g; ferro – 100,0g; zinco – 100,0g; cobre – 20,0g; cobalto – 2,0g; iodo – 2,0g e veículo q.s.p. – 1.000g.

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (três grupos genéticos e dois sexos) com 5 repetições para cada idade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), versão 7.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, 1997. Foram feitas análises de variância (5% de significância) dentro de cada idade. As médias dos sexos foram testadas pelo teste F e as médias de cruzamentos foram testadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para as características mais importantes, foram construídos gráficos de linhas em função da idade.

3.3. Variáveis avaliadas

Aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade foram amostrados dois animais, um macho e uma fêmea, de 5 boxes por grupo genético perfazendo um total de 30 animais, foram pesados, sendo sacrificados por deslocamento cervical e as pernas direita e esquerda removidas. Os fêmures foram pesados após a remoção de todo tecido aderente, medidos seus comprimentos com um paquímetro (precisão de 0,02 mm) e congelados a -20°C.

3.3.1. Aspectos mecânicos

Para determinação dos parâmetros biomecânicos, os fêmures das pernas esquerdas foram descongelados até atingir temperatura ambiente e, posteriormente, submetidos a um ensaio de flexão, sendo utilizado uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca EMIC, segundo a norma ANSI/ASAE S459-98 (1992). Todos os fêmures foram testados na mesma posição, com suas extremidades apoiadas em dois suportes apropriadamente afastados de acordo com seus comprimentos, e a carga tendo sido aplicada no centro (região da diáfise do osso) a uma velocidade constante de 10 mm/min. A distância entre os dois suportes variou com a idade testada, acompanhando o aumento do comprimento longitudinal dos ossos, sendo 30 mm aos 21 e 40 mm aos 28, 35 e 42 dias de idade. Durante a aplicação do carregamento, os pares de pontos carga x deflexão foram continuamente armazenados pelo sistema de aquisição de dados acoplados à máquina de ensaios, resultando na curva carga x deflexão ($F \times \delta$) esquematizada na Figura 1. A partir desta curva ($F \times \delta$) foram determinados os parâmetros utilizados na caracterização do comportamento mecânico do osso, mas para determinação destes parâmetros também foi necessário a determinação das variáveis geométricas empregadas para determinação do momento de inércia e da área da seção transversal do osso, mostradas na Figura 2, considerando-se a seção transversal do osso uma elipse oca.

Para a determinação destas variáveis geométricas após os ensaios de flexão, removeu-se a medula óssea com jatos de água destilada, e tomaram-se as medidas dos diâmetros e espessura na região da diáfise, onde houve ruptura do osso, com auxílio de um paquímetro (precisão de 0,02 mm).

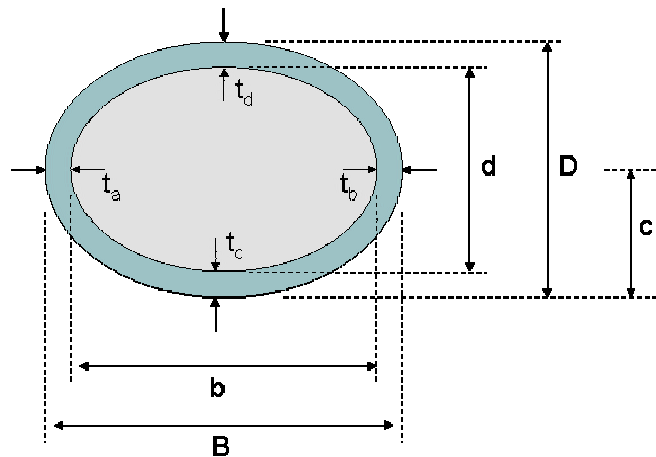


Figura 2- Variáveis geométricas determinadas na seção transversal do fêmur, considerando-o uma elipse oca

Na Figura 2, B representa o diâmetro externo correspondente à largura do osso e b o diâmetro interno, D representa o diâmetro externo correspondente à altura da seção transversal, pela disposição do osso no ensaio de flexão e d o diâmetro interno. Para a determinação dos diâmetros internos, foram empregados valores da espessura, t_a , t_b , t_c e t_d medidos no sentido da largura e altura. Utilizando-se as medidas das espessuras, as medidas dos diâmetros internos (b e d) foram calculados pelas equações 1 e 2. A área da seção transversal é determinada pela equação 3 e I é o momento de inércia (m^4) calculado pela equação 4(ASAE):

$$b = B - 2\left(\frac{t_a + t_b}{2}\right) \quad 1$$

$$d = D - 2\left(\frac{t_c + t_d}{2}\right) \quad 2$$

$$A = \pi(BD - bd) \quad 3$$

$$I = 0,049[(BD^3) - (b.d^3)] \quad 4$$

A resistência à flexão, ou módulo de ruptura, MOR [Pa ou N/m²] é dada pela equação 5(ASAE):

$$\text{MOR} = \frac{FLc}{4I} \quad 5$$

onde: F é a força máxima aplicada [N], L é a distância entre os suportes [m], c é a posição na seção transversal onde a tensão é máxima, ou seja, na face tracionada ou comprimida, cuja medida equivale à metade da altura da seção transversal (1/2 do diâmetro ósseo externo) (Figura 2).

Foram removidos dos fêmures direitos, após serem medidos e pesados, uma porção de 10 mm da região central da diáfise. A medula óssea foi removida com jatos de água destilada e a gordura foi extraída utilizando-se éter de petróleo (temperatura de ebulição entre 40°C e 60°C), durante 12 horas, em aparelho Soxhlet, para a determinação da densidade, d (g/cm³) e porosidade, P (em %), usando o princípio de Arquimedes que relaciona as massas seca, saturada e submersa das amostras (Rath et al, 1999).

A massa seca, P_{sec}, foi determinada após a secagem do osso em estufa a 100°C por 16 horas ou peso constante em pesagens consecutivas. A determinação da massa saturada, P_{sat}, foi feita a seguir, após um período de saturação do osso de 24 horas em água. De acordo com as equações 7 e 8, tanto a densidade quanto a porosidade são calculadas conhecendo-se o volume das amostras, vol (cm³), que pelo princípio de Arquimedes, é dado pela diferença P_{sat}-P_{sub} (g). A massa submersa, P_{sub}, é obtida com a pesagem do osso saturado imerso em um recipiente com água.

$$d = \frac{P_{\text{sec}}}{\text{Vol.}} = \frac{P_{\text{sec}}}{P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}}} \quad 7$$

$$P = 100 \cdot \frac{\text{Vol}_{\text{vazios}}}{\text{Vol.}} = 100 \cdot \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{sec}}}{P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}}} \quad 8$$

3.3.2. Aspectos químicos

Para a determinação dos teores de cinzas e minerais utilizaram-se os fragmentos ósseos anteriormente coletados para análise dos parâmetros geométricos, os quais já haviam sido desengordurados. Posteriormente, as amostras foram incineradas em mufla, a 550°C por 12 horas, resfriadas dentro de dessecador e novamente pesadas. Os resultados foram expressos em termos de porcentagem de cinzas em relação ao peso do osso seco e desengordurado como em Thorp e Waddington (1997).

Para a determinação dos teores de cálcio e fósforo nas cinzas, 10 ml de ácido clorídrico (6M) foram adicionados às cinzas obtidas anteriormente após terem sido resfriadas. Estas amostras, contidas em cadinhos de porcelana, foram colocadas sobre uma placa de aquecimento e a solução foi evaporada até secar completamente. O precipitado foi então dissolvido através da adição de água destilada e deionizada e a solução filtrada em papel filtro em uma proveta de 100 ml (Thorp e Waddington, 1997).

As concentrações de cálcio foram determinados por espectrometria de absorção atômica, no comprimento de onda 422,7 utilizando-se o aparelho SpectrAA 220 FS da Varian. Os resultados foram expressos em termos de

porcentagem de cálcio em relação ao peso de cinzas das amostras. O fósforo foi determinado espectrofotometricamente no comprimento de onda 620 nm em um auto-analisador paramétrico (Alizeé).

3.3.3. Aspectos Bioquímicos

Os fêmures que foram utilizados para o teste de flexão foram cortados longitudinalmente, removendo-se a medula óssea com jatos de água destilada e deionizada. A seguir foram desengordurados com éter de petróleo, em aparelho de Soxhlet, por 12 horas. Para determinação das concentrações das proteínas não colagenosas (PNC) e de proteínas colagenosas (PC). Para tanto, os fêmures foram desmineralizados extensivamente com solução de sal dissódico de EDTA (ácido etilenodiamino tetracético) 0,5 M e pH 8,2, de acordo com o método proposto por Hauschka e Gallop (1977), para a extração das Gla-proteínas ósseas ou proteínas não colagenosas (PNC), cujos pesos moleculares são menores que 10 kd. O fim da extração foi confirmado com o ácido oxálico que permite identificar a desmineralização completa. Após a extração, os volumes foram ajustados para 20 mL para as idades de 21 e 28 dias, e 40 mL para as idades de 35 e 42 dias. As proteínas foram quantificadas na solução de EDTA pelo método de Bradford (1976), utilizando albumina sérica bovina como padrão.

Depois de desengordurados e desmineralizados, os ossos foram lavados exaustivamente com água destilada e deionizada para a extração do excesso de EDTA, e então usados para determinação do teor de PC, utilizando-se o método de BERTHELOT modificado por PEZEMK E NIELSEN, para estimar o

nitrogênio total, com o emprego de fenol cristal, nitroprussiato de sódio, hipoclorito de sódio e, como padrão, o sulfato de amônio anidro. O teor de PC foi obtido, multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos do cruzamento

4.1.1. Aspectos físicos e da composição óssea

Em todas as idades o cruzamento comercial (C3) apresentou maior peso vivo ($P < 0,05$) que os cruzamentos da UFV (C1 e C2), que não diferiram entre si em nenhuma idade, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 2 – Peso vivo e aspectos físicos dos fêmures dos diferentes cruzamentos dos frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade.

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Peso (g)	21	669,80 ^b	674,30 ^b	862,30 ^a
	28	1115,20 ^b	1087,20 ^b	1419,60 ^a
	35	1320,40 ^b	1357,00 ^b	1676,60 ^a
	42	1884,20 ^b	1878,80 ^b	2534,70 ^a
Peso do osso (g)	21	2,57 ^b	2,55 ^b	3,51 ^a
	28	5,25 ^b	4,27 ^c	6,72 ^a
	35	7,55 ^b	8,41 ^b	10,15 ^a
	42	10,12 ^a	10,19 ^a	11,22 ^a
Comprimento do osso (cm)	21	4,94 ^b	4,97 ^b	5,13 ^a
	28	5,91 ^b	5,85 ^b	6,17 ^a
	35	6,62 ^b	6,84 ^{ab}	6,93 ^a
	42	7,38 ^a	7,42 ^a	7,49 ^a
Densidade (g/cm ³)	21	0,77 ^a	0,75 ^a	0,76 ^a
	28	0,8200 ^a	0,8393 ^a	0,8226 ^a
	35	0,7840 ^a	0,8222 ^a	0,8611 ^a
	42	0,8221 ^a	0,8506 ^a	0,8520 ^a
Porosidade (%)	21	57,54 ^b	59,19 ^{ab}	59,27 ^a
	28	58,75 ^a	56,71 ^a	58,61 ^a
	35	59,87 ^a	58,47 ^{ab}	56,87 ^b
	42	56,16 ^a	55,88 ^a	56,10 ^a
Área (cm ²)	21	0,2439 ^a	0,2378 ^a	0,2386 ^a
	28	0,2771 ^b	0,3364 ^a	0,3371 ^a
	35	0,3165 ^a	0,3138 ^a	0,3723 ^a
	42	0,4329 ^a	0,3969 ^a	0,4574 ^a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

Na figura 3 podemos observar uma tendência de ganho de peso de forma linear nos três cruzamentos, com um menor desempenho dos 28 aos 35 dias para os três cruzamentos.

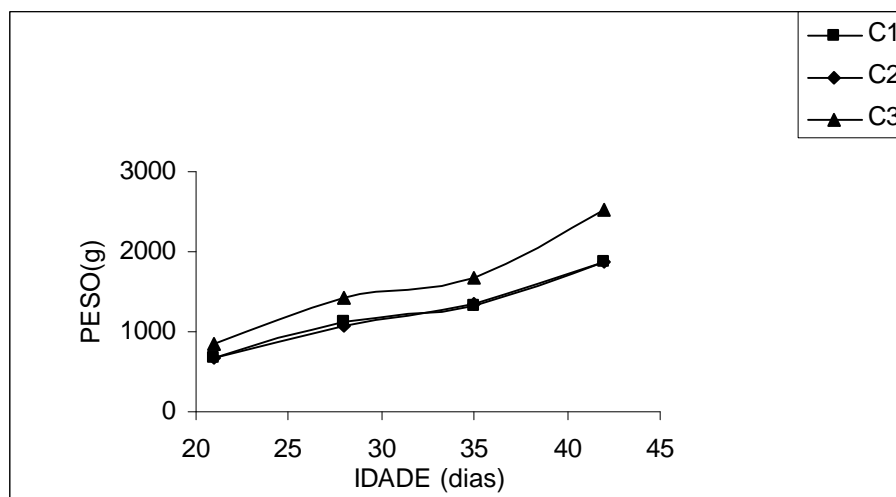


Figura 3 – Variação do peso vivo com a idade dos três cruzamentos.

Com relação ao peso dos fêmures, o cruzamento comercial apresentou maior peso nas idades de 21, 28 e 35 dias ($P < 0,05$), em relação a C1 e C2, que só diferiram na idade de 28 dias, sendo C2 menos pesados ($P < 0,05$). Para a idade de 42 dias o cruzamento comercial (C3) não diferiu ($P > 0,05$) dos outros cruzamentos C1 e C2, e mostrando uma tendência de redução do ganho do peso ósseo, mostrado na figura 4.

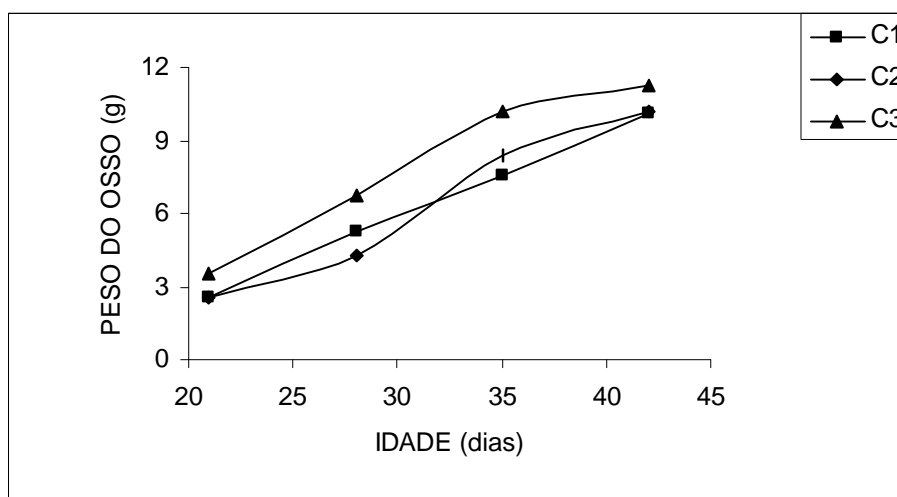


Figura 4 – Variação do peso do osso com a idade dos três cruzamentos.

Para a variável comprimento do osso, o cruzamento comercial mostrou comprimento maior ($P < 0,05$) nas idades de 21 e 28 dias. Na idade de 35 dias não ocorreram diferenças ($P > 0,05$) entre os cruzamentos C3 e C2, sendo C1 menor. Mas aos 42 dias não houve diferenças entre os três cruzamentos, (tabela 2).

O cruzamento comercial mostrou, tanto para a variável peso do osso quanto comprimento do osso, uma tendência de redução dos seus valores (figuras 4 e 5), não sendo capazes de acompanhar o maior ganho de peso vivo observado no último período por este cruzamento, talvez por causa do desvio de nutrientes para esta finalidade, que no caso tem prioridade sobre o desenvolvimento do esqueleto, como observado por Leterrier et al (1998), que quando utilizaram para uma mesma linhagem rações com níveis energéticos diferentes observaram que no mesmo período as aves que tiveram maior ganho de peso apresentaram ossos e áreas das secções transversais maiores.

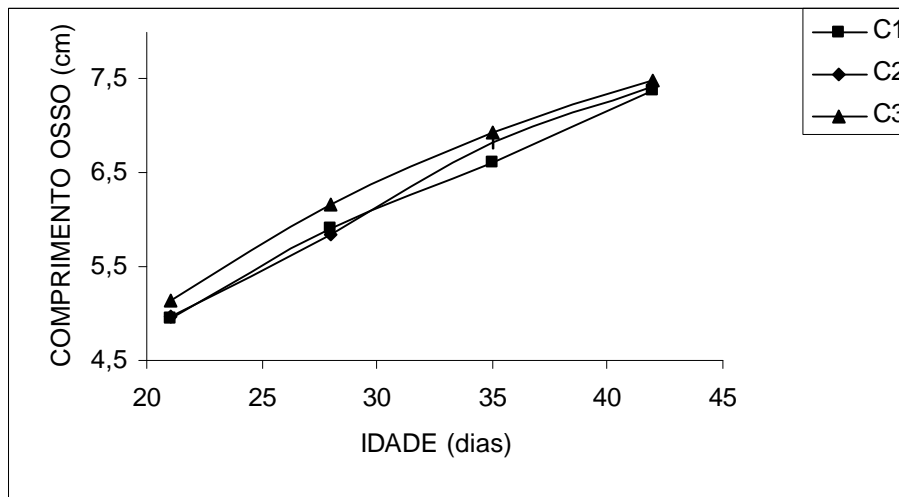


Figura 5 – Variação do comprimento do osso com a idade dos três cruzamentos.

As variáveis densidade e porosidade não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) com relação ao cruzamento, somente a porosidade para C1, aos 21 dias, foi menor ($P < 0,05$) que C2 e C3, e aos 35 dias foi maior que C2 e C3, como mostra a Tabela 2.

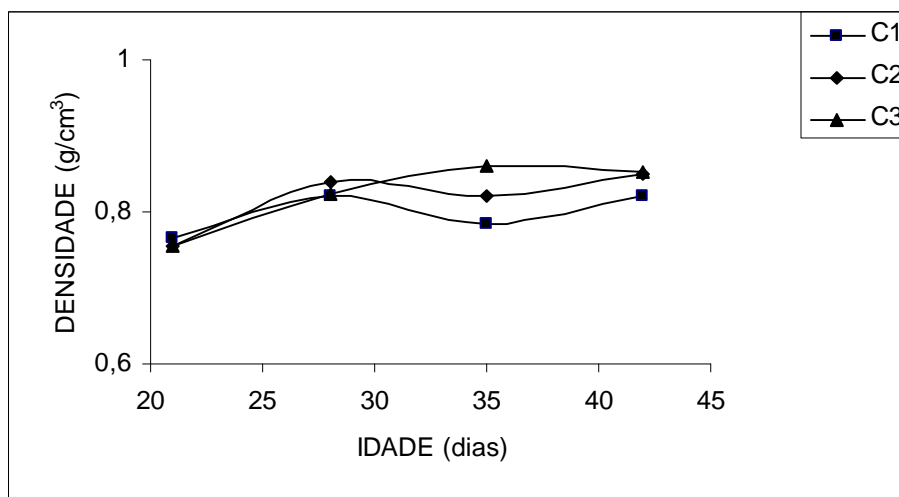


Figura 6 – Variação da densidade do osso com a idade dos três cruzamentos.

Ao longo das idades se percebe uma tendência de elevação da densidade entre os 21 até 35 dias para o cruzamento comercial e depois se

estabilizando. Já para a porosidade, o observado foi o inverso, houve tendência de redução dos 21 aos 42 dias de vida para cruzamento comercial. No cruzamento C1, que teve menor crescimento, a porosidade tendeu a permanecer constante ao longo dos períodos, e o cruzamento C2 teve grande oscilação dentre as idades, não se permitindo fazer nenhuma previsão, como demonstrados nas figuras 6 e 7.

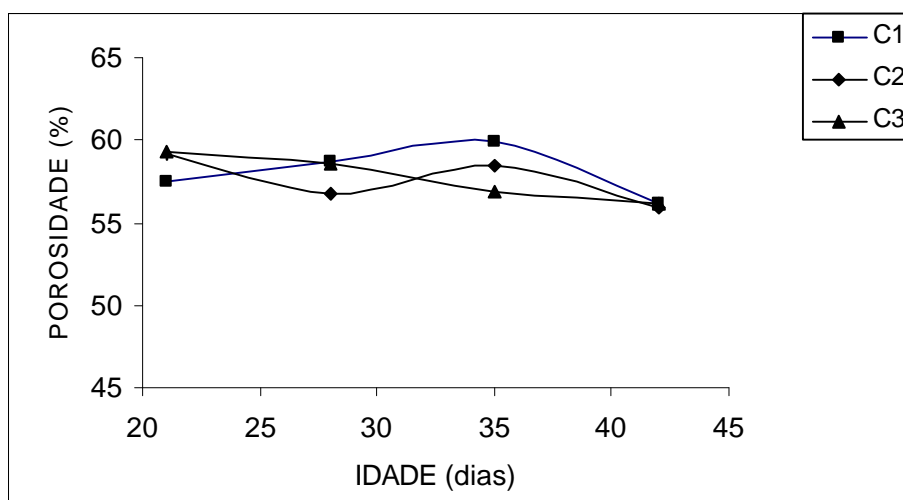


Figura 7 – Variação da porosidade do osso com a idade dos três cruzamentos.

A área da seção transversal não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) aos 21, 35 e 42 dias para os cruzamentos. Aos 28 dias, C1 apresentou área significativamente menor ($P < 0,05$) que C2 e C3, e estes não diferiram entre si (tabela 2). A área da seção transversal mostrou tendência de crescimento dos 21 até os 28 dias, aumentando menos dos 28 aos 35 dias e novamente tendo um aumento no crescimento dos 35 até os 42 dias de idade (figura 8), sendo o mesmo observado por Torres (2005), e Rose et al (1996). Uma provável explicação porque no intervalo de 28 a 35 dias houve um menor ganho de peso para os três cruzamentos, é que a área da seção transversal

óssea aumenta linearmente com o peso vivo (observação feita por Torres 2005).

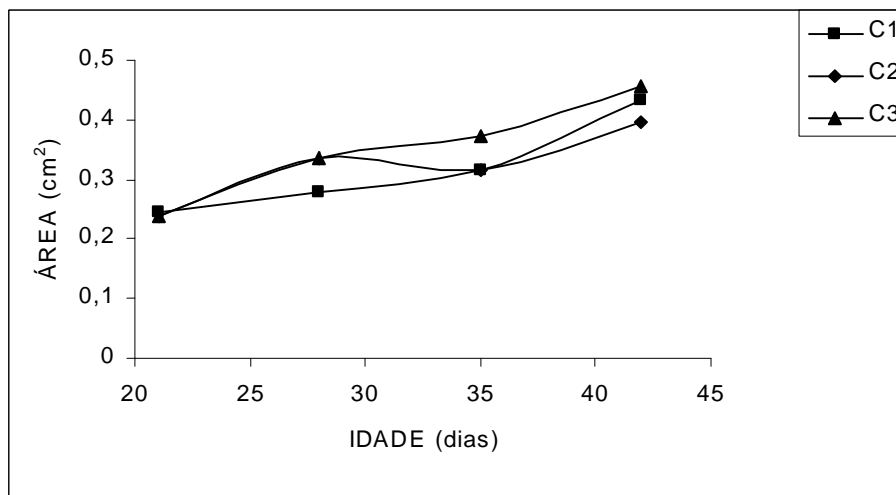


Figura 8 – Variação da seção da área transversal do osso com a idade dos três cruzamentos.

Não foi observada nenhuma diferença significativa ($P>0,05$) para a variável porcentagem de cinzas dos ossos secos desengordurados para os cruzamentos (tabela 3), em conformidade com Torres (2005) e Rath et al (1999) que encontraram valores semelhantes nas porcentagens de cinzas dos ossos. Torres (2005), analisando as tíbias das mesmas linhagens observou uma tendência de aumento para os teores de cinzas e densidade dos 21 até os 35 dias e tendências de redução dos 35 aos 42 dias, justificados pelo maior crescimento e ganho de peso das aves e mudança na ração, mas o mesmo comportamento só foi observado neste estudo para os teores de cinzas quando se analisou fêmures.

Tabela 3– Aspectos da composição dos fêmures dos diferentes cruzamentos dos frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade.

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Teor de cinzas (%)	21	0,6137 ^a	0,6156 ^a	0,6236 ^a
	28	0,6289 ^a	0,6200 ^a	0,6306 ^a
	35	0,6406 ^a	0,6369 ^a	0,6487 ^a
	42	0,6355 ^a	0,6402 ^a	0,6410 ^a
Cálcio (%)	21	35,94 ^a	34,71 ^a	37,11 ^a
	28	37,42 ^a	36,85 ^a	36,56 ^a
	35	31,38 ^b	35,10 ^a	34,91 ^a
	42	36,76 ^a	34,70 ^a	35,32 ^a
Fósforo (%)	21	28,84 ^a	34,42 ^a	26,68 ^a
	28	17,05 ^b	24,29 ^a	16,50 ^b
	35	15,60 ^b	20,47 ^a	14,58 ^b
	42	17,47 ^a	16,61 ^a	15,92 ^a
Magnésio (%)	21	0,8638 ^a	0,8540 ^a	8548 ^a
	28	0,8700 ^a	0,8743 ^a	0,7911 ^a
	35	0,7987 ^{ab}	0,8427 ^a	0,7833 ^b
	42	0,8548 ^a	0,8230 ^a	0,8051 ^a
Relação Ca:P	21	1,27 ^a	1,04 ^b	1,44 ^a
	28	2,22 ^a	1,57 ^b	2,26 ^a
	35	2,05 ^{a,b}	1,78 ^b	2,45 ^a
	42	2,12 ^a	2,10 ^a	2,20 ^a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

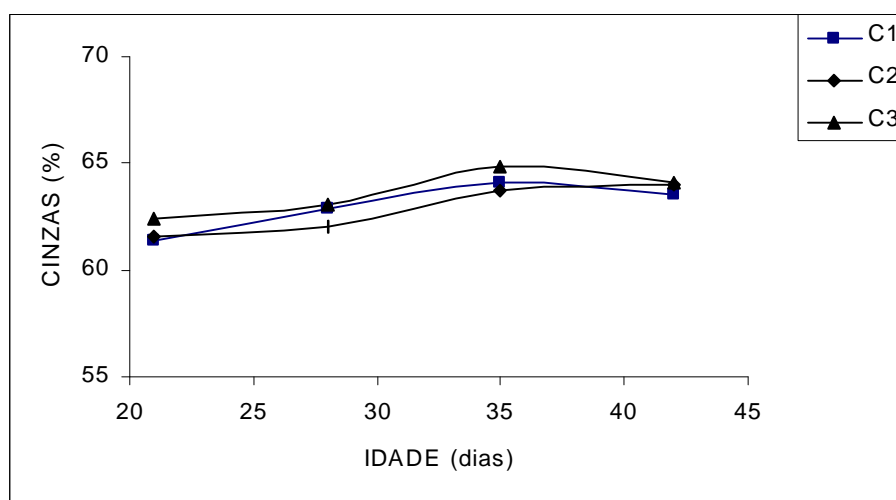


Figura 9 – Variação dos teores de cinzas dos ossos com a idade dos três cruzamentos.

Para as porcentagens de cálcio nas cinzas, não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) para cruzamentos (tabela 3). Somente aos 35 dias o cruzamento C1 foi menor significativamente ($P < 0,05$). E de maneira

geral não houve tendência nem para aumento, nem para diminuição dos teores de cálcio ao longo das idades (figura 10).

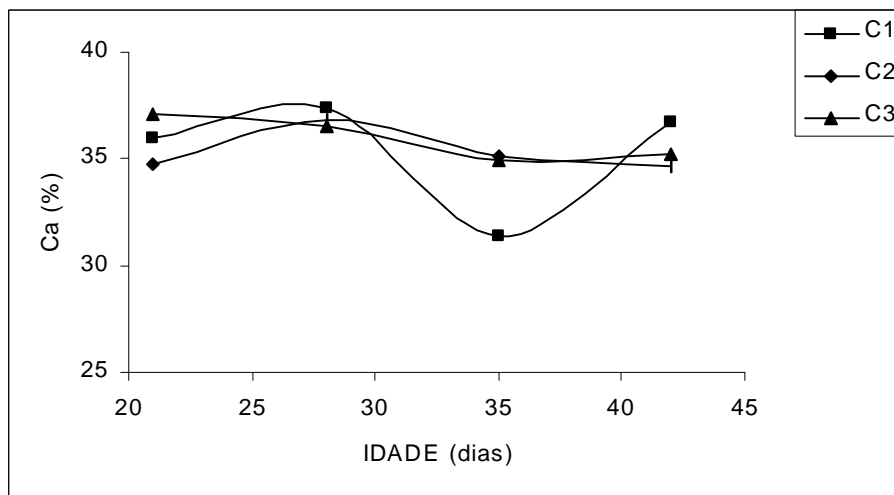


Figura 10 – Variação das porcentagens de cálcio dos fêmures com a idade dos três cruzamentos.

As porcentagens de fósforo variaram nas idades (tabela 3), sendo que para os 28 dias, C2 foi significativamente maior que C1 e C3 ($P < 0,05$), entre C1 e C3 não houve diferença significativa ($P > 0,05$). Aos 28 e 35 dias C2 se manteve com maiores concentrações de Fósforo que C1 e C3, não havendo diferença entre os cruzamentos ($P > 0,05$). Houve uma tendência de queda nas concentrações de fósforo dos 21 aos 35 dias de idade para os três cruzamentos e estabilização dos 35 aos 42 dias para C1 e C3, com C2 ainda decaindo até nivelar-se com C1 e C3 aos 42 dias, como mostrado na figura 11. Já Torres (2005) não encontrou variações entre as idades e nem entre cruzamentos quando trabalhou com tíbias de frangos das mesmas linhagens.

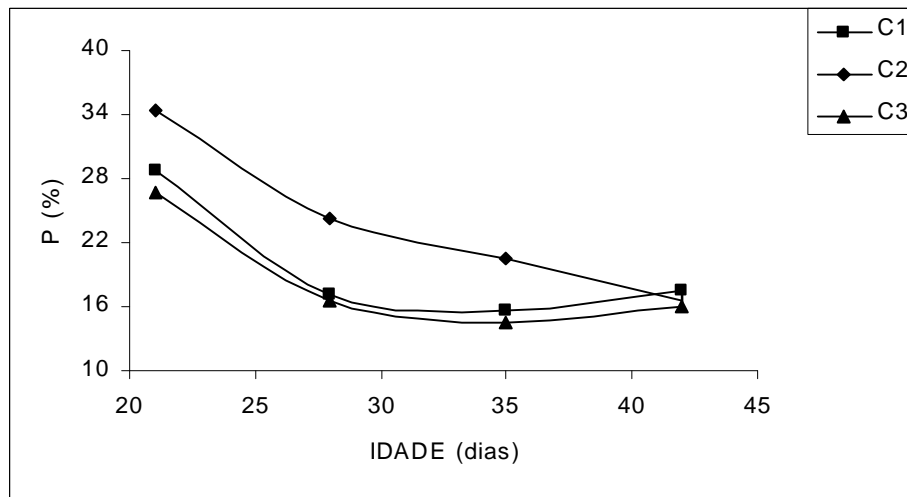


Figura 11 – Variação dos teores de fósforo dos fêmures com a idade dos três cruzamentos.

A relação Ca:P apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) aos 21 dias para C2 e aos 28 dias C2 foi significativamente menor que C1 e C3. Aos 35 dias C1 não diferiu de C2 e C3, sendo que C2 foi menor que C3 e, aos 42 dias não houve diferenças entre os cruzamentos (tabela 3). Para a idade de 21 dias observou-se uma relação Ca:P inferior aos da literatura que tem como ideal 2:1, por causa da composição do mineral do cristal ósseo (Hocking et al, 2002), podendo, inclusive, alterar a resistência óssea por alterar a estrutura do cristal (Thorp e Waddington, 1997). O que observamos na prática é que principalmente os ossos da idade de 21 dias, em todos os cruzamentos, quando submetidos ao teste de flexão, tiveram um comportamento diferente das outras idades, se rompendo bruscamente. E na idade de 42 dias, muitos ossos se fendilharam longitudinalmente e não se partiram, podendo estes comportamentos estarem associados as relações Ca:P e ao tipo de cristal, os quais não foram avaliados.

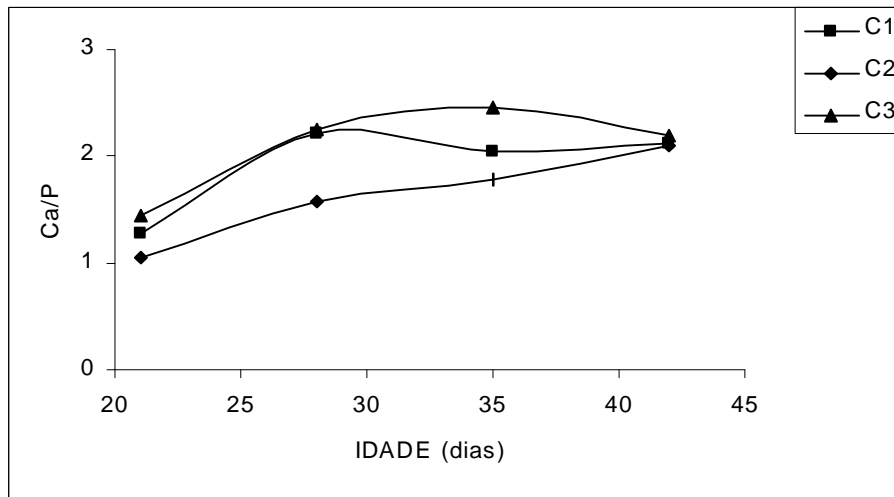


Figura 12 – Variação da relação cálcio:fósforo do osso com a idade dos três cruzamentos.

4.1.2. Aspectos mecânicos

O momento de inércia se comportou da mesma forma que a área da seção transversal, não havendo diferença significativa ($P > 0,05$) entre os cruzamentos (tabela 4) e com uma tendência de aumento ao longo das idades (figura 13).

Tabela 4 - Aspectos mecânicos dos fêmures dos diferentes cruzamentos de frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Carga máxima (F) [N]	21	210,1050 ^a	189,9290 ^a	207,2320 ^a
	28	183,98 ^b	202,51 ^{ab}	225,29 ^a
	35	179,12 ^b	202,65 ^b	252,03 ^a
	42	209,21 ^b	247,45 ^{ab}	282,05 ^a
Resistência à flexão (MOR) [MPa]	21	57,74 ^a	52,52 ^a	59,42 ^a
	28	47,17 ^a	41,61 ^a	40,34 ^a
	35	35,89 ^a	42,58 ^a	34,29 ^a
	42	29,70 ^b	39,39 ^a	34,01 ^{ab}
Tenacidade à flexão (SPE) [KJ/m ²]	21	12,27 ^a	11,51 ^a	12,28 ^a
	28	11,97 ^a	10,50 ^a	9,63 ^a
	35	11,27 ^a	13,47 ^a	11,04 ^a
	42	13,17 ^a	12,88 ^a	12,45 ^a
Inércia x 10 ⁻¹⁰ (I) [m ⁴]	21	0,96E-9 ^a	0,98E-9 ^a	0,95E-9 ^a
	28	1,64E-9 ^a	1,98E-9 ^a	2,04E-9 ^a
	35	2,25E-9 ^a	2,27E-9 ^a	3,03E-9 ^a
	42	3,98E-9 ^a	3,26E-9 ^a	4,18E-9 ^a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

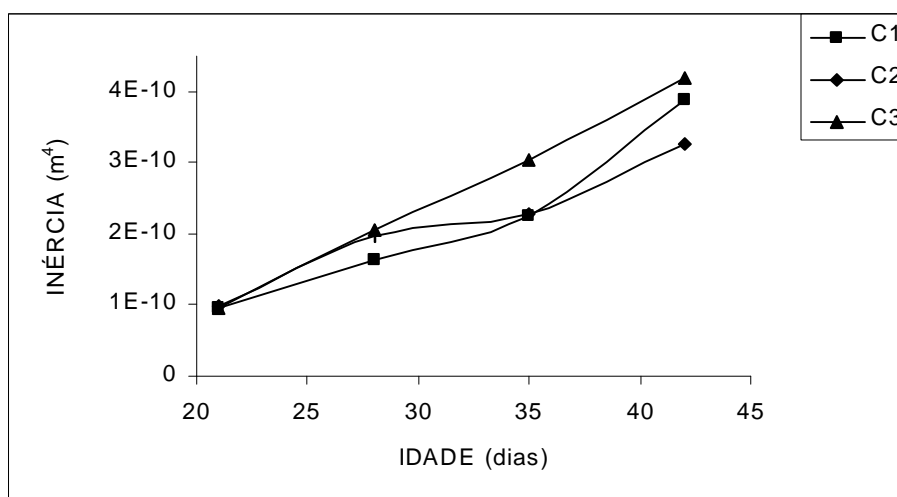


Figura 13 – Variação do momento de inércia dos fêmures com a idade dos três cruzamentos.

A carga máxima na flexão (F) na tabela 4 aos 21 dias não foi diferente significativamente ($P > 0,05$) para os cruzamentos, aos 28 dias C2 foi igual a C3 e C1, sendo C1 menor que C3. Aos 35 e 42 dias C3 foi maior que C1 e C2. A maior diferença para C3 parece estar relacionada ao ajuste do esqueleto ao

maior ganho de peso de cruzamento em relação a C1 e C2. Observa-se também que a tendência geral ao longo das idades é de aumento da carga máxima, ajustando-se ao aumento do peso corporal (figura 14).

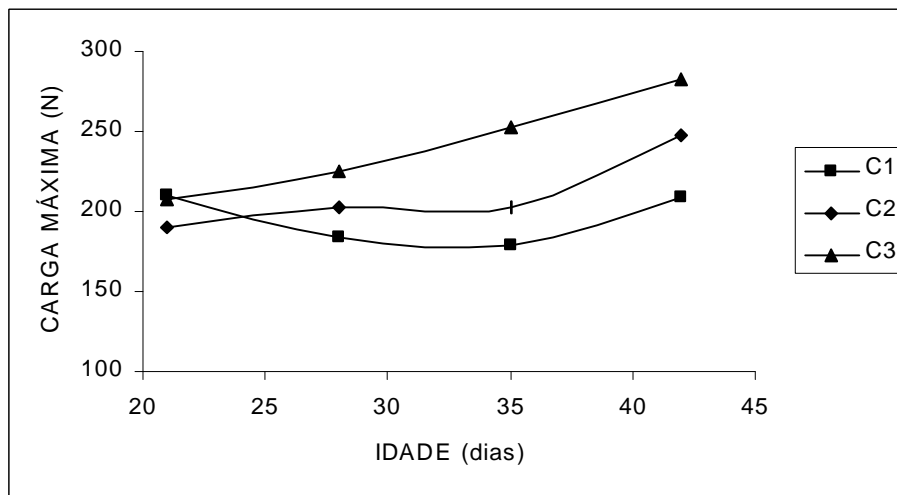


Figura 14 – Variação da carga máxima dos fêmures dos três cruzamentos.

Para a resistência à flexão não ocorreram diferenças significativas entre os cruzamentos. Somente aos 42 dias C2 foi maior que C1 e não diferiu de C3. Acredita-se, de certa forma, que a qualidade dos ossos de C3 foi comprometida porque quando se observa a resistência à flexão (MOR), que é um parâmetro que representa a resistência intrínseca do osso, através de correção dos valores de (F) em função da geometria óssea, percebe-se uma inversão de posição no gráfico (figura 14 e 15), onde C3 passou a ter valores menores, mesmo sendo mais pesados.

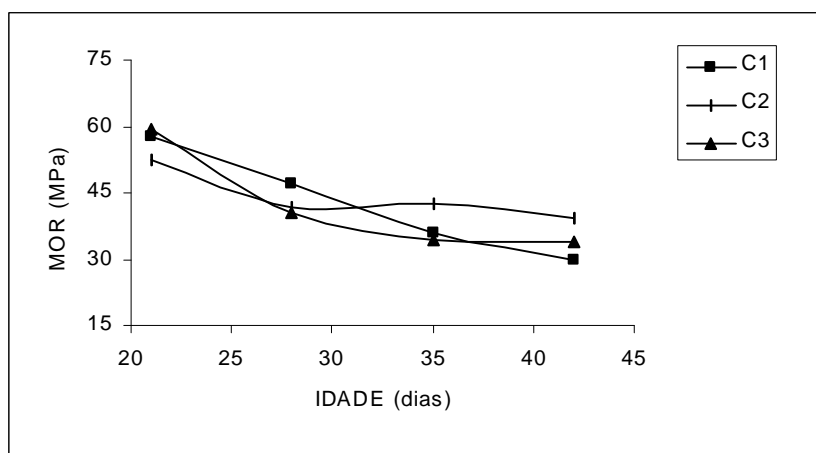


Figura 15 – Variação de MOR dos fêmures dos três cruzamentos.

Para todas as idades os três cruzamentos não diferiram significativamente ($P > 0,05$) para a tenacidade na flexão (tabela 4). A tenacidade na flexão (SPE) foi determinada com 80% de (F) após a carga máxima, no intuito de correlacionar com a porcentagem de proteínas colagenosas, mas não se percebeu um aumento da SPE ao longo das idades, mesmo tendo percebido uma aumento nas porcentagens de proteínas colagenosas vistos nas figuras 16 e 7, o mesmo encontrado por Torres (2005) mostrando que outros fatores além da concentração de colágeno, como tipo de interações moleculares, possam contribuir para este tipo de propriedade óssea.

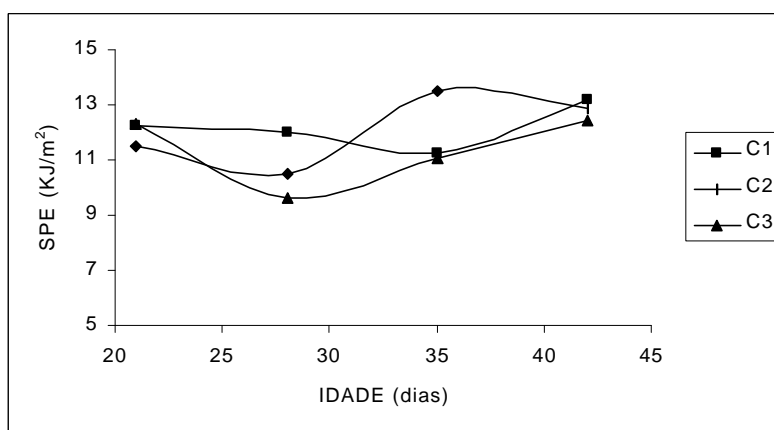


Figura 16 – Variação do comportamento da tenacidade a flexão dos fêmures com a idade dos três cruzamentos.

As proteínas colagenosas (PC) estão relacionadas com a área da curva carga x deflexão, ou seja, tenacidade a flexão (SPe) (Currey, 2003a). Para as idades de 21 e 42 dias, não foi observada nenhuma diferença significativa entre os cruzamentos. Aos 28 dias, C1 e C2 tiveram valores iguais estatisticamente ($P > 0,05$), sendo diferentes ($P < 0,05$) de C3. Aos 35 dias C1 foi igual a C3 e ambos diferiram estatisticamente ($P > 0,05$) de C2 (tabela 5).

Tabela 5 - Aspectos bioquímicos dos fêmures dos diferentes cruzamentos de frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade.

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Proteína colagenosa (PTNCOL) (%)	21	15,44 ^a	14,91 ^a	16,27 ^a
	28	27,08 ^{ab}	29,83 ^a	23,21 ^b
	35	30,81 ^a	22,03 ^b	30,47 ^a
	42	30,20 ^a	26,02 ^a	26,20 ^a
Proteína não colagenosa (PTNNCOL) (%)	21	3,36 ^a	4,30 ^a	3,97 ^a
	28	1,55 ^a	1,46 ^a	1,21 ^a
	35	1,08 ^b	1,75 ^a	1,37 ^{ab}
	42	0,63 ^a	0,77 ^a	0,77 ^a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

Como não foi possível fazer uma correlação conclusiva do comportamento das duas variáveis, mas a variação das porcentagens das PC nas idades está em conformidade com Macari et al (2002), que explica a priorização dos nutrientes no metabolismo voltado para depósito de massa muscular.

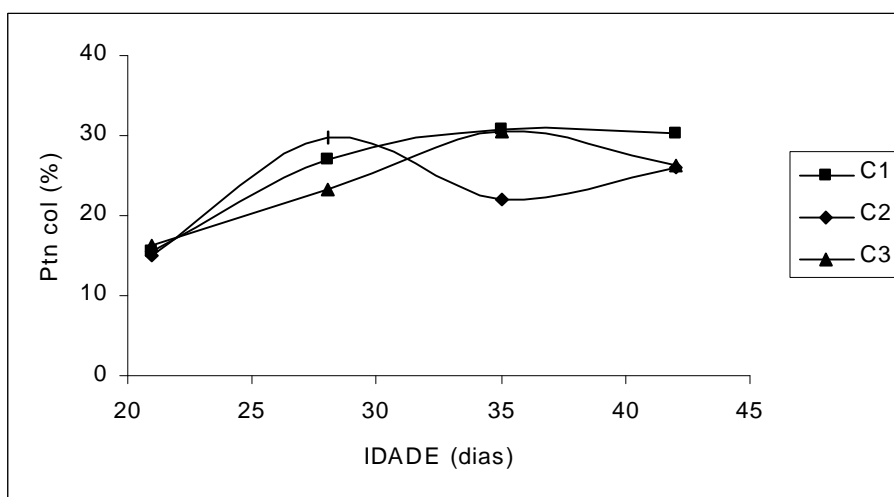


Figura 17 – Variação das porcentagens de proteína colagenosa do osso com a idade dos três cruzamentos.

As proteínas não colagenosas não apresentaram diferenças significativas entre os cruzamentos em praticamente todas as idades, somente aos 35 dias C1 foi menor ($P < 0,05$) que C2 e C3 (tabela 5). O que se nota claramente na figura 18 é uma diminuição acentuada dos 21 aos 28 dias e uma tendência discreta de diminuição dos 28 aos 42 dias de idade, podendo estar associado às mudanças das concentrações dos minerais, principalmente o fósforo, que também diminuiu nos mesmos padrões, alterando as relações Ca:P ao longo das idades, corrigindo-a, pois na idade de 21 dias se encontrava muito baixa comparados a literatura, em todos os cruzamentos.

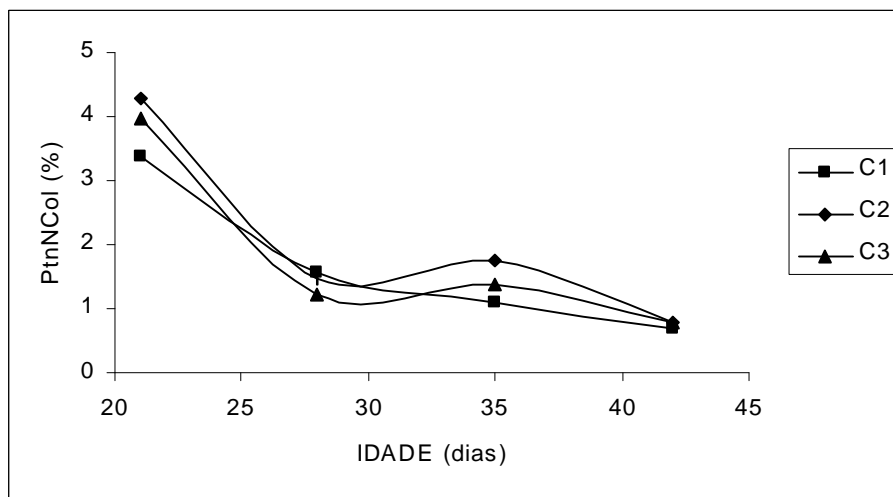


Figura 18 – Variação da proteína não colagenosa do osso com a idade dos três cruzamentos.

4.2. Efeitos do sexo

4.2.1. Aspectos físicos e da composição óssea

Em todas as idades os machos apresentaram maior peso vivo e foram significativamente maiores que as fêmeas, como pode ser visto na tabela 6.

Na figura 19 podemos observar uma tendência de redução de ganho de peso tanto para machos quanto para fêmeas entre as idades de 28 e 35 dias.

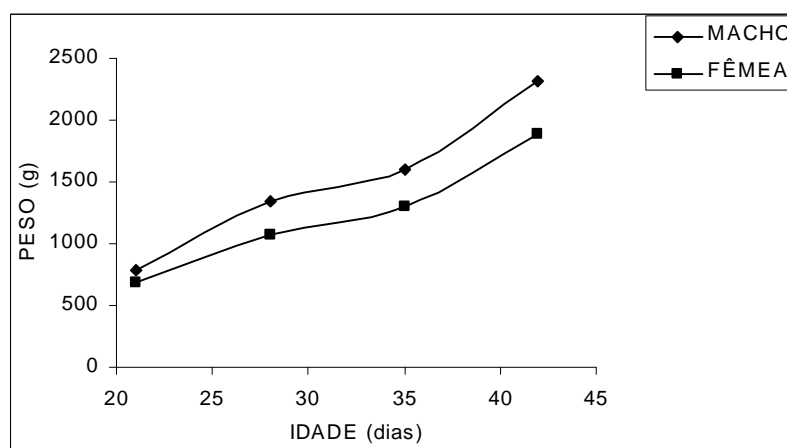


Figura 19 – Variação do peso vivo com a idade de machos e fêmeas

Tabela 6 - Peso vivo e aspectos físicos dos fêmures de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias.

Variável	Idade (dias)	Machos	Fêmeas
Peso (g)	21	7786,47 ^a	684,47 ^b
	28	1346,40 ^a	1068,27 ^b
	35	1602,67 ^a	1300,00 ^b
	42	2310,40 ^a	1888,07 ^b
Peso do osso (g)	21	3,23 ^a	2,52 ^b
	28	6,31 ^a	4,52 ^b
	35	9,87 ^a	7,54 ^b
	42	12,14 ^a	8,89 ^b
Comprimento do osso (cm)	21	5,10 ^a	4,94 ^b
	28	6,14 ^a	5,82 ^b
	35	6,99 ^a	6,60 ^b
	42	7,64 ^a	7,22 ^b
Densidade (g/cm ³)	21	0,76 ^a	0,76 ^a
	28	0,8490 ^a	0,8057 ^a
	35	0,8207 ^a	0,8242 ^a
	42	0,8377 ^a	0,8453 ^a
Porosidade (%)	21	58,29 ^a	59,04 ^a
	28	55,92 ^a	60,13 ^a
	35	58,18 ^a	58,63 ^a
	42	55,68 ^a	56,42 ^a
Área (cm ²)	21	0,2625 ^a	0,2177 ^b
	28	0,3445 ^a	0,2892 ^b
	35	0,3607 ^a	0,3078 ^b
	42	0,5040 ^a	0,3542 ^b

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

Com relação ao peso e comprimento dos fêmures, os machos apresentaram maiores valores que as fêmeas em todas as idades ($P < 0,05$), mostrados na tabela 6. Tanto para a variável peso do osso, quanto comprimento do osso, houve uma tendência de redução dos seus crescimentos (figura 20, 21), mostrando que provavelmente não foram capazes de acompanhar o maior ganho de peso vivo observado no último período, talvez por causa do desvio de nutrientes para esta finalidade, que no caso tem prioridade sobre o desenvolvimento do esqueleto.

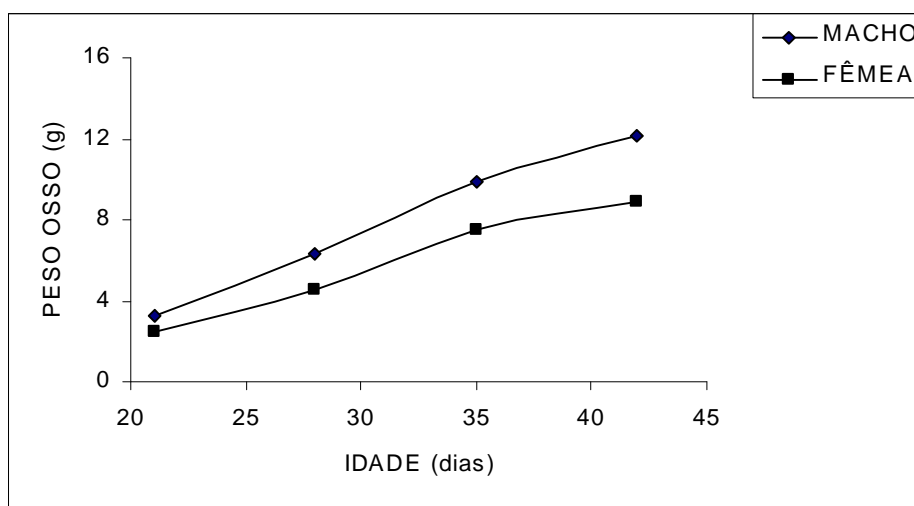


Figura 20– Variação do peso do osso com a idade de machos e fêmeas.

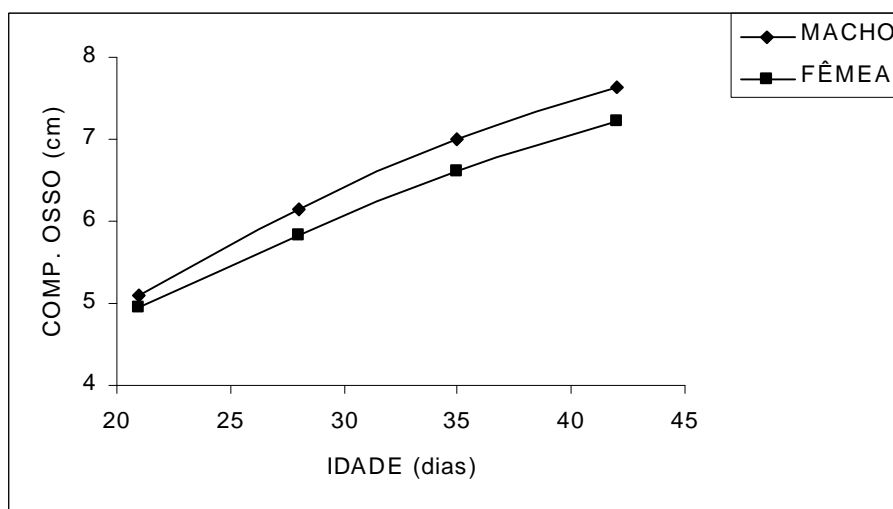


Figura 21 – Variação do comprimento do osso com a idade de machos e fêmeas.

A área de seção transversal foi significativamente maior para os machos em todas as idades, mostrado na tabela 6, mostrando tendência de crescimento igual ao ganho de peso, e, principalmente para os machos, houve uma maior evidência de crescimento dos 35 aos 42 dias, mostrando um ajuste da estrutura óssea para suportar mais peso, principalmente neste sexo, já que as fêmeas mostraram crescimento de forma linear, mostrados na figura 22, sendo o mesmo observado por Torres (2005) e Rose et al (1996). Uma

provável explicação porque no intervalo de 28 a 35 dias houve um menor ganho de peso para os machos, é que como a área da seção transversal aumenta linearmente com o peso vivo [observação feita por Torres (2005), também Leterrier et al (1998), quando utilizaram para uma mesma linhagem rações com níveis energéticos diferentes observaram que no mesmo período as aves que tiveram maior ganho de peso apresentaram ossos e áreas das secções transversais maiores.

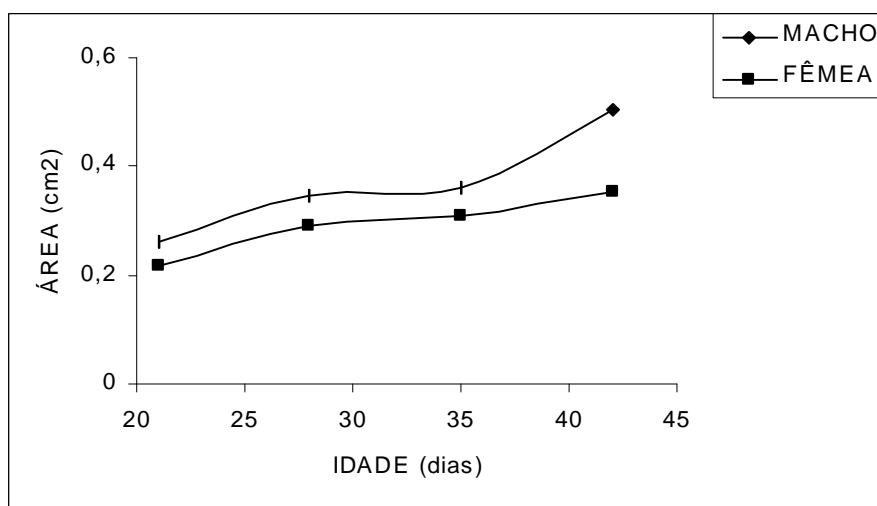


Figura 22– Variação da área da seção transversal dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

As variáveis densidade e porosidade não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) com relação aos sexos (tabela 6), tendo a porosidade diminuída ligeiramente ao longo das idades ao contrário da densidade que teve ligeiro aumento com a idade como pode ser observado nas figuras 23 e 24 e de certa forma justificado através do ligeiro aumento do teor de cinzas visto no figura 25.

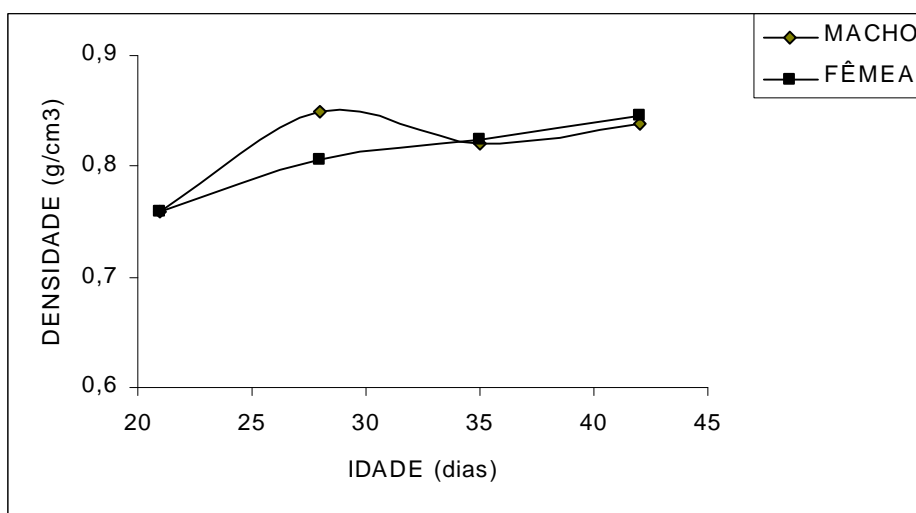


Figura 23 – Variação da densidade dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

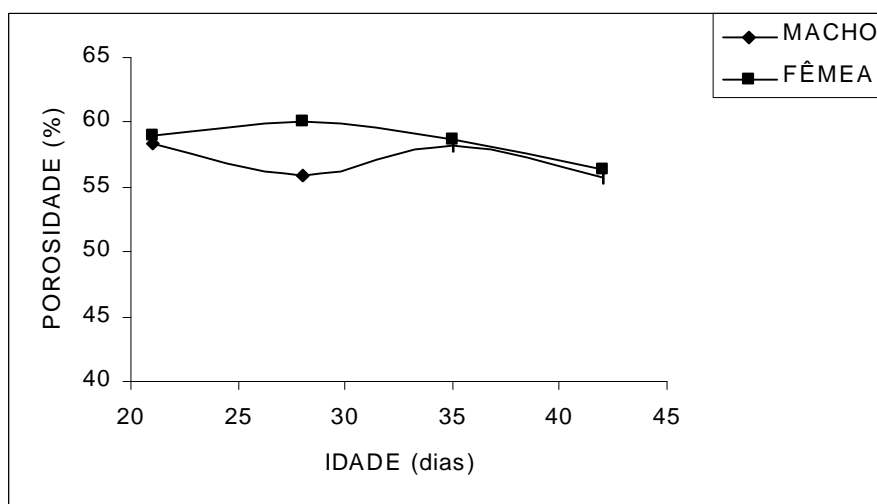


Figura 24 – Variação da porosidade dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

Não foi observada nenhuma diferença significativa ($P > 0,05$) para a variável porcentagem de cinzas dos ossos secos desengordurados, para os sexos (tabela 7), em conformidade com Torres (2005) e Rath et al (1999) que encontraram valores semelhantes nas porcentagens de cinzas dos ossos. Torres (2005), analisando as tíbias das mesmas linhagens observou uma tendência de aumento para os teores de cinzas e densidade dos 21 até os 35 dias e tendências de redução dos 35 aos 42 dias, justificados pelo maior

crescimento e ganho de peso das aves e mudança na ração, sendo o mesmo efeito observado neste estudo em menor grau quando se analisou fêmures (figura 25), justificado talvez pela conformação anatômica e estrutural deste osso, sendo menos exigido mecanicamente.

Tabela 7 - Aspectos da composição dos fêmures de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias.

Variável	Idade (dias)	Machos	Fêmeas
Teor de cinzas (%)	21	0,6117 ^a	0,6235 ^a
	28	0,6217 ^a	0,6313 ^a
	35	0,6412 ^a	0,6428 ^a
	42	0,6373 ^a	0,6405 ^a
Cálcio (%)	21	35,64 ^a	36,20 ^a
	28	36,15 ^a	37,73 ^a
	35	33,44 ^a	34,16 ^a
	42	33,34 ^a	37,78 ^b
Fósforo (%)	21	26,53 ^b	33,43 ^a
	28	17,46 ^b	21,10 ^a
	35	15,77 ^a	18,00 ^a
	42	15,06 ^a	18,27 ^b
Magnésio (%)	21	0,8567 ^a	0,8589 ^a
	28	0,8215 ^a	0,8687 ^a
	35	0,7992 ^a	0,8173 ^a
	42	0,7798 ^b	0,8754 ^a
Relação Ca:P	21	1,39 ^a	1,11 ^b
	28	2,16 ^a	1,87 ^b
	35	2,22 ^a	1,97 ^b
	42	2,21 ^a	2,07 ^a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo de Tukey ($p > 0,05$).

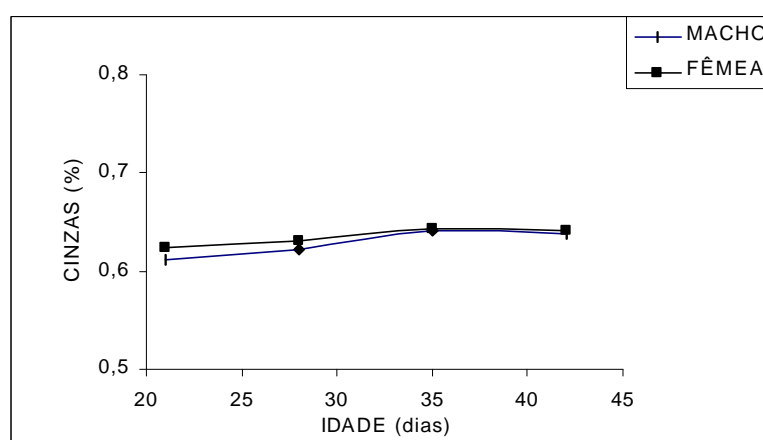


Figura 25– Variação das porcentagens de cinzas dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

Para as porcentagens de cálcio nas cinzas não foram observadas diferenças significativas ($P>0,05$) para os sexos (tabela 7), somente na idade de 42 dias as fêmeas foram menores significativamente ($P<0,05$). E de maneira geral, não houve tendência nem para aumento, nem para diminuição dos teores de cálcio ao longo das idades (figura 26).

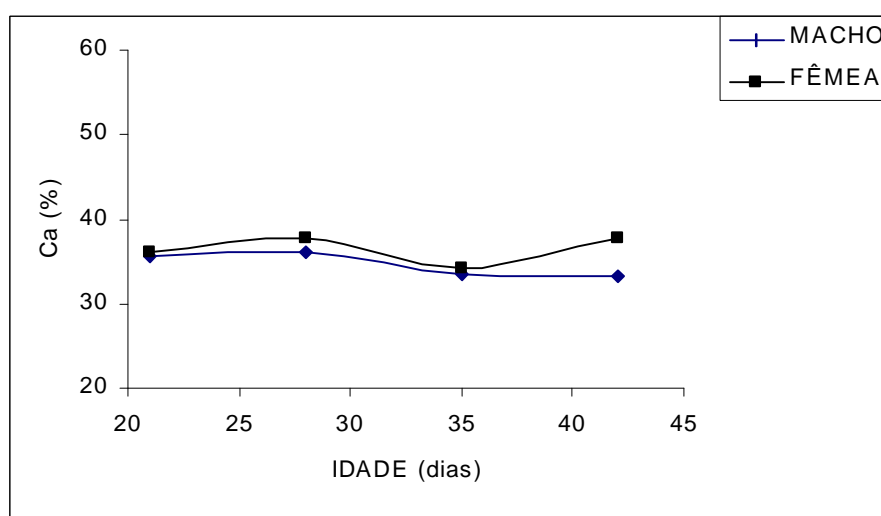


Figura 26– Variação das porcentagens de cálcio dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

As porcentagens de fósforo dos fêmures das fêmeas dos 21 e 28 dias foram significativamente maiores ($P< 0,05$) que machos; para 35 dias não houve diferenças significativas e os machos de 42 dias tiveram concentrações maiores que as fêmeas ($P<0,05$) vistos na tabela 7. Houve uma tendência de queda nas concentrações de fósforo dos 21 aos 35 dias de idade e estabilização dos 35 aos 42 dias para ambos os sexos, como mostrado na figura 27. Já Torres (2005) não encontrou variações entre as idades e nem entre cruzamentos quando trabalhou com tíbias de frangos das mesmas linhagens.

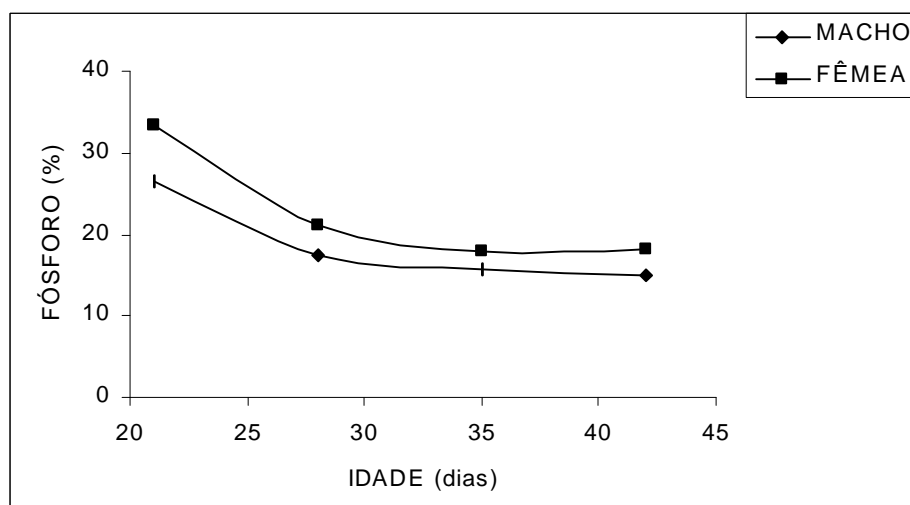


Figura 27 – Variação das porcentagens de fósforo dos fêmures com a idade de machos e fêmeas

A relação Ca:P apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) aos 21, 28 e 35 dias para os machos e aos 42 dias não foram significativamente diferentes ($P > 0,05$) (tabela 7) e tiveram aumento da relação com o aumento da idade dos 21 aos 28 dias (figura 28). Para a idade de 21 dias observou-se uma relação Ca:P inferior aos da literatura que tem como ideal 2:1, por causa da composição do mineral do cristal ósseo (Hocking et al, 2002), podendo inclusive alterar a resistência óssea por alterar a estrutura do cristal (Thorp e Waddington, 1997).

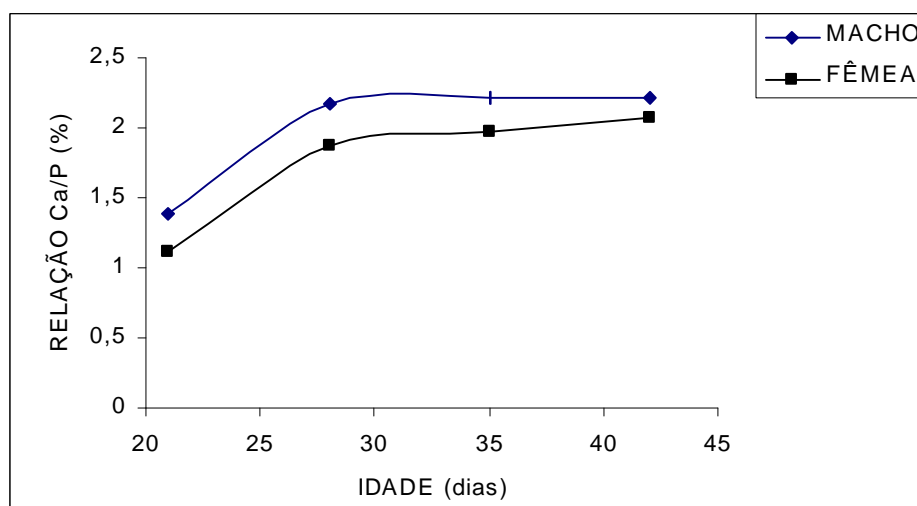


Figura 28 – Variação das relações cálcio:fósforo dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

4.2.2. Aspectos mecânicos

O momento de inércia não teve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os sexos nas idades de 21, 28 e 35; aos 42 dias, os machos foram maiores significativamente (tabela 8). Ocorreu uma tendência de aumento da inércia ao longo das idades (figura 29), havendo uma diminuição da intensidade dos 28 aos 35 dias, e depois novo aumento dos 35 aos 42 dias, que pode ser explicado da mesma forma que a área da seção transversal, sendo provavelmente um ajuste na geometria do osso para suportar o maior ganho de peso nesta fase principalmente para os machos que tiveram maior ganho de peso que as fêmeas.

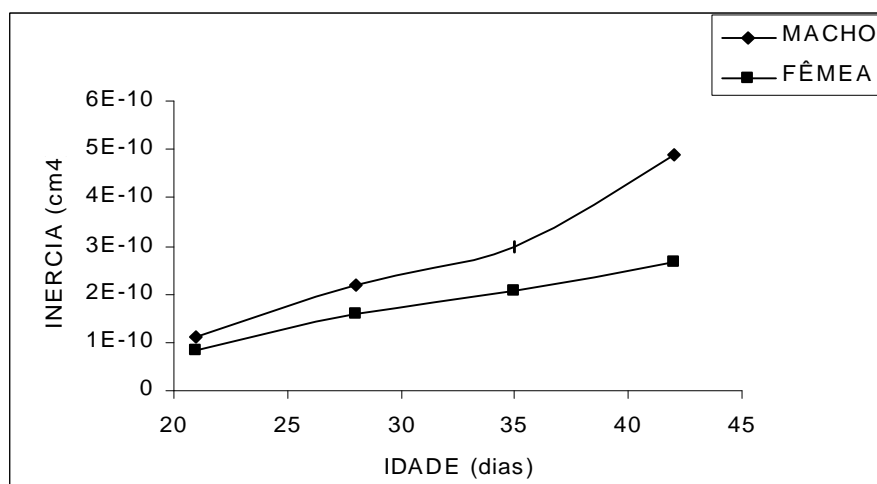


Figura 29 – Variação do momento de inércia dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

Tabela 8 - Aspectos mecânicos dos fêmures de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias de idade.

Variável	Idade (dias)	Machos	Fêmeas
Carga máxima (F) [N]	21	232,40 ^a	172,44 ^b
	28	218,45 ^a	189,40 ^b
	35	211,79 ^a	210,74 ^a
	42	272,84 ^a	219,63 ^b
Inércia (I) [m ⁴]	21	1,11E-9 ^a	0,83E-9 ^a
	28	2,20E-9 ^a	1,57E-9 ^a
	35	2,98E-9 ^a	2,06E-9 ^a
	42	4,88E-9 ^a	2,68E-9 ^b
Resistência à flexão (MOR) [MPa]	21	59,49 ^a	53,63 ^a
	28	39,63 ^a	46,45 ^a
	35	34,50 ^a	40,66 ^b
	42	30,17 ^b	38,56 ^a
Tenacidade à flexão (SPE) [KJ / m ²]	21	12,70 ^a	11,35 ^a
	28	9,20 ^a	12,20 ^a
	35	11,23 ^a	12,63 ^a
	42	11,60 ^b	14,06 ^a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P>0,05).

A carga máxima na flexão (F) para machos aos 21 e 28 dias foi significativamente maior (P<0,05), não houve diferenças significativas entre os sexos aos 35 dias, mas para os 42 dias os machos foram significativamente maiores (tabela 8). Nota-se uma diminuição da carga máxima dos 21 aos 35 para os machos, o que não seria esperado, já que com o aumento do peso, esperar-se-ia um ajuste nos seus valores para suportar os pesos mais

elevados, mas aos 42 dias este fenômeno pode ser bem observado, aonde os machos tiveram valores mais elevados que as fêmeas e dos valores anteriores. Já as fêmeas por terem tido um aumento de peso menos acentuado, mostraram um crescimento linear dos valores da carga máxima mostrados na figura 30.

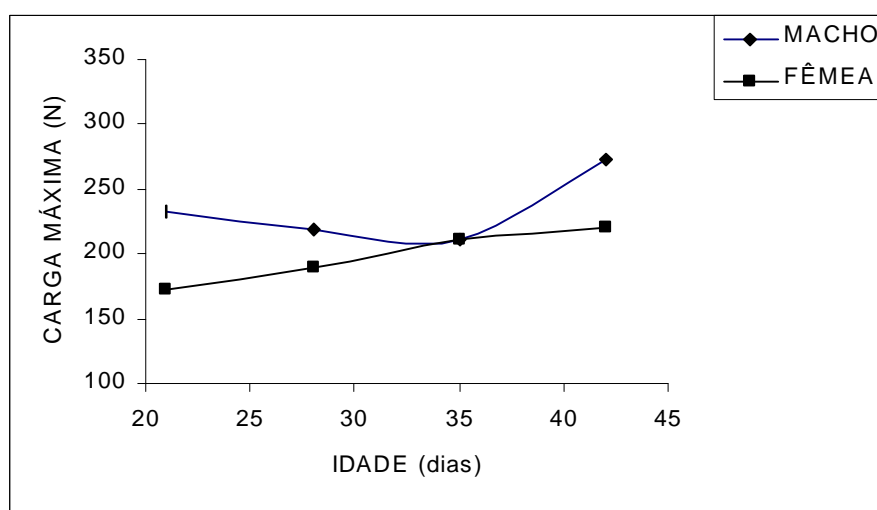


Figura 30 – Variação das cargas máximas dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

Para a resistência à flexão não ocorreram diferenças significativas entre os sexos nas idades de 21 e 28 dias. Aos 35 e 42 dias de idade, os machos foram significativamente menores ($P < 0,05$) (tabela 8). Fica claro que a qualidade dos ossos dos machos ficou comprometida, porque quando se observa a resistência à flexão (MOR), que é um parâmetro que representa a resistência intrínseca do material, através de correção dos valores de (F) em função da geometria do osso, percebe-se uma inversão de posição no gráfico (figura 30 e 31), onde os machos passaram a ter valores inferiores ao das fêmeas, mesmo sendo mais pesados. Embora Williamns et al (2000b) não atribuam as características do cristal ósseo como um dos fatores principais

para a resistência a flexão, nós observamos que existe uma semelhança no comportamento dos gráficos (figuras 27 e 31) dos teores de fósforo e do MOR. Alterando a relação Ca:P ao longo das idades e talvez interferindo na constituição do cristal como acredita Thorp e Waddington (1997) já que o teores de cálcio não variaram na mesma proporção do fósforo.

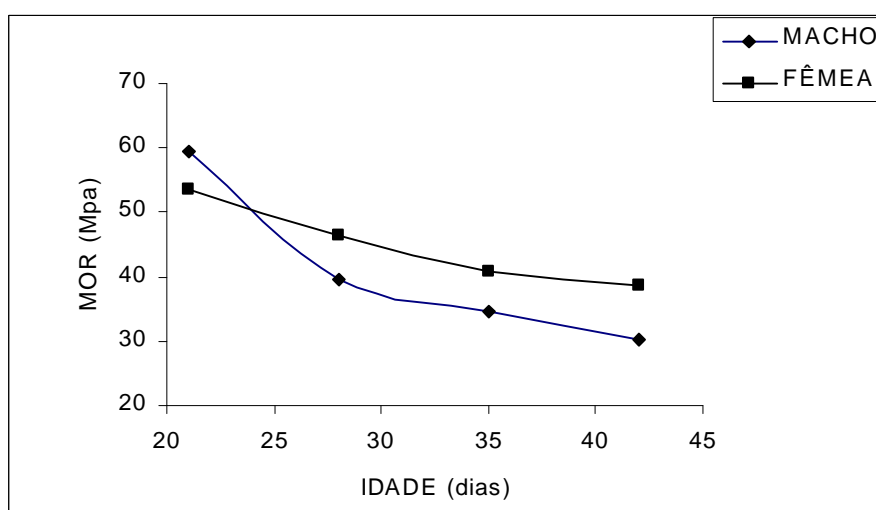


Figura 31 – Variação das resistências as flexões dos fêmures com a idade de machos e fêmeas

A tenacidade na flexão (SPE) foi determinada com 80% de (F) após a carga máxima, não dando diferenças significativas nas idades de 21, 28 e 35 dias. Para a idade de 42 dias, as fêmeas foram maiores (tabela 8), ao contrário do que foi encontrado por Torres (2005), onde estudando tíbias de frangos das mesmas linhagens encontrou que machos tiveram valores de SPE maiores que as fêmeas, mostrando que para determinadas propriedades avaliadas tem-se que levar em conta o tipo de osso testado, pois o tempo de maturidade de tipos ósseos pode variar em um mesmo animal. Correlacionando com a porcentagem de proteínas colagenosas, observamos que aos 21 dias quando

os machos tinham valores de SPE maiores, mesmo não sendo estatisticamente significativos, as proteínas colagenosas eram significativamente maiores neste mesmo sexo, e quando os valores de SPE foram significativamente menores para os machos aos 42 dias as proteínas colagenosas também foram menores significativamente ($P < 0,05$), mostrando a relação entre estas duas propriedades.

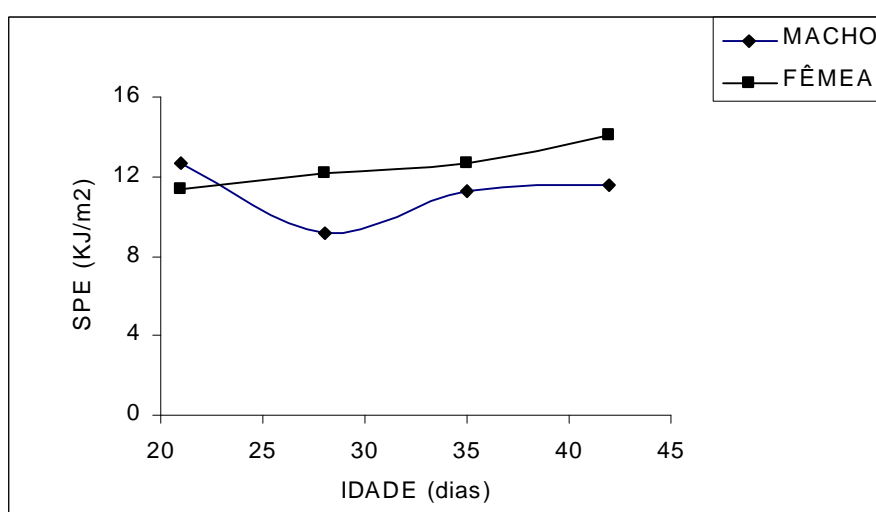


Figura 32 – Variação das SPE dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

As proteínas colagenosas (PC) estão relacionadas com a área da curva carga x deflexão, ou seja, tenacidade a flexão (SPE) (Currey, 2003a). Para as idades de 28, 35 e 42 dias (tabela 9), não foi observada nenhuma diferença significativa entre sexos. Aos 21 dias, os machos tiveram valores estatisticamente maiores ($P > 0,05$). As variações das PC nas idades estão em conformidade com Macari et al (2002), que explica a priorização dos nutrientes no metabolismo. Através das curvas de tendências nos gráficos de linhas (figura 33) podemos observar um aumento das PC dos 21 aos 35 dias de idade, e dos 35 aos 42 dias quando ocorre mudança na ração visando maior

ganho de peso. As proteínas colagenosas tendem a diminuir tanto para machos quanto para fêmeas, assim como já observado também, menores comprimentos e pesos dos ossos neste período, principalmente para machos que apresentaram melhores resultados para ganho de peso.

Tabela 9 - Aspectos bioquímicos dos fêmures de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias de idade.

Variável	Idade (dias)	Machos	Fêmeas
Proteína colagenosa(PTNCOL)	21	16,51 ^a	14,57 ^b
	28	27,63 ^a	25,78 ^a
	35	26,63 ^a	28,91 ^a
	42	26,68 ^a	28,26 ^a
Proteína não colagenosa(PTNNCOL)	21	3,77 ^a	3,98 ^a
	28	1,37 ^a	1,45 ^a
	35	1,28 ^a	1,52 ^a
	42	0,72 ^a	0,77 ^a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste Tuley (P>0,05).

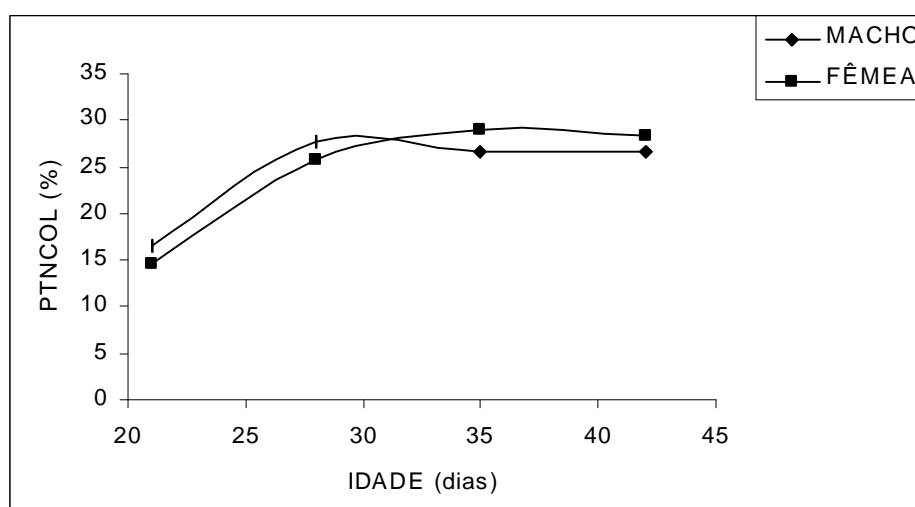


Figura 33 – Variação das porcentagens das proteínas colagenosas dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

As proteínas não colagenosas não apresentaram diferenças significativas entre os sexos em nenhuma idade (tabela 9). O que se nota claramente na figura 34 é uma diminuição acentuada dos 21 aos 28 dias e uma

tendência discreta de diminuição dos 28 aos 42 dias de idade, podendo estar associado às mudanças das concentrações dos minerais, principalmente o fósforo, que também diminuiu nos mesmos padrões, alterando as relações Ca:P ao longo das idades, corrigindo-a, já que na idade de 21 dias se encontrava muito baixa comparados a literatura, em todos os cruzamentos.

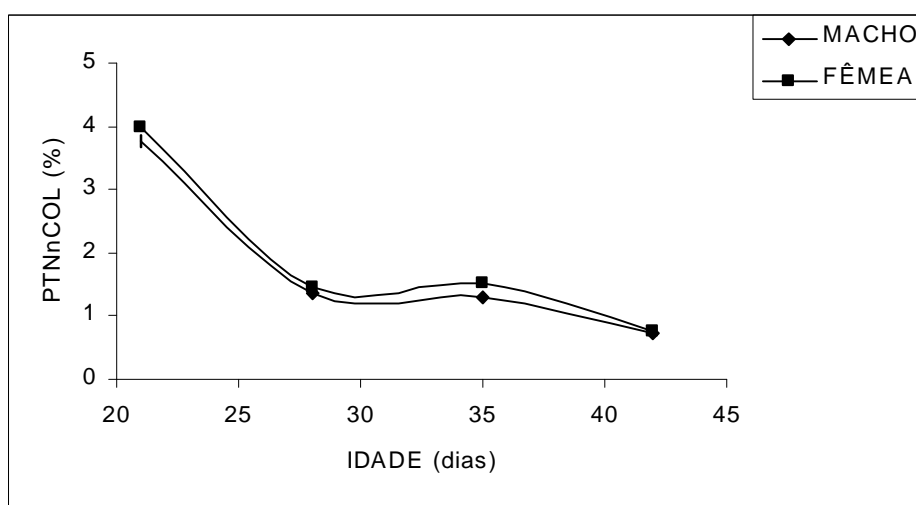


Figura 34 – Variação das porcentagens das proteínas não colagenosas dos fêmures com a idade de machos e fêmeas.

5. CONCLUSÕES

O cruzamento comercial (C3) mostrou qualidade genética superior, pois obteve melhor desempenho com relação ao ganho de peso quando submetido ao mesmo tratamento que os outros cruzamentos da UFV. Mas como não ocorreram modificações nas composições químicas dos ossos para melhorar suas qualidades de resistências ósseas, novos incrementos em ganho de peso poderão agravar os problemas de pernas. Mesmo o cruzamento comercial apresentando maiores valores relacionados a geometria óssea (área da seção transversal), inercia e força máxima na flexão como forma adaptativa de suportar maior peso corporal, principalmente aos 42 dias, a qualidade intrínseca do material ósseo não foi devidamente melhorada quando comparamos a resistência na flexão (MOR) com os dois cruzamentos da UFV.

O cruzamento C1 da UFV mostrou pior desempenho em todos os aspectos analisados, principalmente em relação às alterações adaptativas na estrutura óssea, não sendo recomendados para futuras seleções de ganho de peso, pois poderão apresentar elevado índice de problemas de pernas, sendo C2 mais recomendado.

Machos são mais susceptíveis às deformidades ósseas, pois, apesar de apresentarem maior ganho de peso, tem propriedades intrínsecas ósseas inferiores aos das fêmeas, mostrados pelo MOR e pela SPE, sendo importante a incorporação destas características ósseas dentro do processo de seleção genética, principalmente associadas ao sexo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS **ASAE Standard S459. Shear and three-point bending test of animal bone.** ASAE, St. Joseph, MI, 1992.

APPLEGALET, T. J., LILBURN, M. S. Growth of the femur and tibia of a commercial broiler line. **Poultry Science**, v.81, n.9, p. 1289-1294, 2002.

ARAÚJO, C.S.S.; ARTONI, S.M.B.; ARAÚJO, L.F. et al. Avaliação do desempenho e excreção de cálcio em duas linhagens de frangos de corte , na fase inicial, alimentados com diferentes níveis de aminoácidos e de cálcio. **Rev. Bras. Ciênc. Avic.** v.4, n.2, p.111-118, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE FRANGO- ABEF. Consumo brasileiro de carne de frangos.- Série histórica (1989-2003). www.abef.com.br acessado em 20 de junho de 2005.

AVIAGEN Improving performance of broilers. www.aviagem.com, acessado em 05 de junho de 2004.

AVICULTURA INDUSTRIAL

http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=11173&tipo_tabela=negocios&categoria=exportacao, acessado em 05 de Janeiro de 2005.

AVICULUTRA INDUSTRIAL. Mudando as exigências. **Avicultura Industrial**, v.8, p.30-32, 2003.

BIEWENER, A.A.; BERTRAM, J.E. Structural response of growing bone to exercise and disuse. **Journal of Applied Physiology**, v.76, n.2, p.946-955, 1994.

BOND, P.L.; SULLIVAN, T.W.; DOUGLAS, J.H. et al. Influence of age, sex and method of rearing on tibia length and mineral deposition in broilers. **Poultry Science**, v.70, n.9, p.1936-1942, 1991.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.**, v. 72, n.2, p. 248-254, 1976.

CURREY, J.D. Role of collagen and other organics in the mechanical properties of bone. **Osteoporos Int.** v.14, n.5, p. 29-36, 2003a.

CURREY, J.D. The many adaptations of bone. **Journal of Biomechanics**, v.36, n.10, p.1487-1495, 2003b.

CURREY, J.D. What determines the bending strength of compact bone? **The Journal of Experimental Biology**, v.202, n.18, p.2495-2503, 1999.

DE ROBERTIS (Jr.), HIB, PONZIO. **Biologia Celular e Molecular**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 147-148, 2003.

DUFF, S.R.I., THORP, B.H. Patterns of physiological bone torsion in the pelvic appendicular skeleton in broiler fowl. **Resume Veterinary Science**, v. 39, n.3, p.307-312, 1985.

EDWARDS, Jr.; H.M. Nutrition and skeletal problems in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1018-1023, 2000.

EMMERSON, D. A.; ANTHONY, N., B., NESTOR, K., E. et al. Genetic association of selection for increased leg muscle and increased shank diameter with body composition and walking ability. **Poultry Science**, v.70, n.4, p.739-745, 1991.

FARQUHARSON, C., JEFFERIES, D., Chondrocytes and longitudinal bone growth: the development of tibial dyscondroplasia. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.994-1004, 2000.

FIELD, R. A. Ash and calcium as measures of bone in meat and bone mixtures. **Meat Science**, v.55, n.3, p. 255-264, 2000.

FREITAS, B. C. F.; NUNES, I. J. Fraqueza das pernas em frangos de corte: aspectos nutricionais. **Cad.Téc. Vet. Zootec**, v 34, p.45-51, 2001.

FUJISAWA, R., WADA, Y., NODASAKA, YL, KUBOKI, Y. Acidic amino acid-rich sequences as binding sites osteonectin to hydroxyapatite crystals. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1292, p. 53-60, 1996.

GUEDES, P.P. Perspectivas sobre 2004 para a avicultura de corte. Embrapa suínos e aves <http://www.cnpsa.embrapa.br/?artigos/2004/artigo-2004-n012.html;ano=2004> acessado em 16 de dezembro de 2004.

GUYTON, A.C. Tratado de Fisiologia Médica. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1014p, 1997.

HAUSCHKA, P.V., GALLOP, P.M. Purification and calcium binding properties of osteocalcin, the carboxyglutamate containing protein of bone. In:WASSERMAN, R.H., Calcium binding proteins and calcium function. Amsterdam: Elsevier, p.338-347, 1977.

HENRY, J.B. **Diagnósticos clínicos e tratamento por métodos laboratoriais**.18ªed. Brasil: Editora Manole Ltda, 1678p, 1995.

JOHNSON, L.R. **Fundamentos de Fisiologia Médica**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 502-511, 2000.

JULIAN, R. J. Rapid growth problems: Ascites and skeletal deformities in broilers. **Poultry Science**, v.77, n.12, p.1773-1780, 1998.

KESTIN, S, C; KNOWLES, T. G.; TINCH; A. E. et al. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. **The Veterinary Record**, v.131, n.9, p.190-194, 1992.

KESTIN, S. C.; SU, G.; AND SORENSEN, P. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. **Poultry Science**, v.7, n.8, p.1085-1090, 1999.

LETERRIER, C.; NYS, Y. Composition, cortical structure and mechanical properties of chicken tibiotarsi: effect of growth rate. **British Poultry Science**, v.33, n.5, p.925-939, 1992.

LETERRIER, C.; ROSE, N.; CONSTANTIN, P. et al. Reducing growth rate of broiler chickens with a low energy diet does not improve cortical bone quality. **British Poultry Science**, v.39, n.1, p.24-30, 1998

LILBURN, M. S. Skeletal growth of commercial poultry species. **Poultry Science**, v.73, n.6, p.897-903, 1994.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada à frangos de corte**.ed.Jaboticabal:FUNEP/UNESP, 375p, 2002.

MACARI, M., FURLAN, R.L., GONZALEZ, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal, SP: FUNEP/UNESP, 1994. 296p.

McNAMEE, P. T., McCULLAG, J. J., THORP, B. H. et al. Study of leg weakness in two commercial broiler flocks. **The Veterinary Record**, v.143, n.5, p.1312-135, 1998.

MERCER, J.T; HILL, W.G. Estimation of genetic parameters for skeletal defects in broiler chickens. **Heredity**, v.53, n1, p.193-203, 1984.

MORROW, C.J., BRADBURY, J.M., GENTLE, M.J., et al. The development of lameness and bone deformity in the broiler following experimental infection with *Mycoplasma galisepticum* or *Micoplasma synoviae*. **Avian Pathology**, v.26, n.1, p. 169-187, 1997.

MURAKAMI, A.E. **Balanço eletrolítico da dieta e sua influência sobre o desenvolvimento dos ossos de frangos**. In: Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícola, p.33-61, 2000.

NESTOR, K.E.; BACON, W.L.; SAIF, Y.M. et al. The influence of genetic increases in shank width on body weight, walking ability and reproduction of turkeys. **Poultry Science**, v.64, n.12, p.2248-2255, 1985.

NESTOR, K.E.; BACON, W.L., MOORHEAD, P.D. et al. Comparison of bone and muscle growth in turkey lines selected for increased body weight and increased shank width. **Poultry Science**, v.66, n.9, p.1421-1428, 1987.

NEWBREY, J., BAKIS, S., DHILLON, et al. Histomorphometry and vitamin D metabolism of valgus-varus deformity in broiler chicks. **Avian Disease**, v.32, p.704-712,1988.

PAIVA,A.L.C.; TEIXEIRA, R.F.; SILVA, R.F. et al. Avaliação de peso individual e ganho de peso de três híbridos de frango de corte. In: **Zootec**, **2004**. Brasília 2004.

RAIF, E.M.; HARMAND, M.F. Molecular interface characterization in human bone matrix. **Biomaterials**, v.14, n.13, p.978-984, 1993.

RATH, N. C., HUFF, G. R. AND BALOG, J. M. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1024-1032, 2000.

RATH, N.C., BALOG, J.M., HUFF, G.R. et al. Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibia of seven- and seventy-two-week-old male and female broiler breeder chickens. **Poultry Science**, v.78, n.8, p.1232-1239, 1999.

ROACH, H.I. Why does bone matrix contain non-collagenous proteins? The possible roles of osteocalcin, osteopontin and bone sialoprotein in bone mineralization and resorption. **Cell Biology International**, v. 18, n. 6, p. 617-628, 1994.

ROSS, M. H., ROWRELL, L. J. **Histologia- Texto e Atlas 2^a ed.** São Paulo: Média Panamericana, 779p, 1993.

ROSE, N.; CONSTANTIN, P.; LETERRIER, C. Sex differences in bone growth of broiler chickens. **Growth, Development and Aging**, v.60, n.2, p.49-59, 1996.

ROSTAGNO, H.S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos- Composição de alimentos e exigências nutricionais.** 2^a ed. Viçosa: Editora UFV, 141p, 2000.

SAKOMURA, N. K.; LONGO, F. A.; BENATTI, M. R. B. et al. Efeito da restrição alimentar qualitativa precoce sobre o desempenho em frangos de corte. In: PRÊMIO JOSÉ MARIA LAMAS DA SILVA. **Trabalhos expostos na CONFERÊNCIA APINCO`97.** [S.l.: s.n.], p. 16, 1997.

SEIFERT, M.F.; WATKINS, B.A. Role of dietary lipid and antioxidants in bone metabolism. **Nutrition Research**, v.17, n. 7, p. 1209-1228, 1997.

SULLIVAN, T. W. Skeletal problems in poultry: Estimated Annual cost and descriptions. **Poultry Science**, v.73, n.6, p.879-882, 1994.

SWENSON, M. J. (Ed) DUKES. **Fisiologia dos animais domésticos.** 10^a ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 799p, 1988.

TARDIN, A. C., **Visão nutricional dos problemas locomotores em frangos de Corte**. Conferência APINCO 1995 de Ciência e Tecnologia Avícolas. Campinas: SP, p.71-83, 1995.

THORP, B. H., WADDINGTON, D. Relationships between the bone pathologies, ash and mineral content of long bones in 35-day-old broiler chickens. **Research in Veterinary Science**, v.62, n.1, p.67-73, 1997.

REIS, Denise Torres da Cruz, M.S., **Aspectos físicos, químicos e mecânicos de tíbias de frangos de corte**. Viçosa, Minas Gerais – UFV, 73p. (Tese M.S.), 2005.

TURNER, C.H.; BURR, D.B. Basic biomechanical measurements of bone: A tutorial. **Bone**, v.14, n.4, p.595-608, 1993.

TWAL, W.O., J.Wu, GAY, C.V., LEACH, R.M. Immunolocalization of basic fibroblast growth factor in avian tibial dyschondroplastic cartilage. **Poultry Science**, v.75, n.1, p.130-134, 1996.

VELLEMAN, S. G. The role of the extracellular matrix in skeletal development. **Poultry Science**, v. 79, n.7, p.985-989, 2000.

WANG, X.; BANK, R.A.; TEKOPPELE, J.M. et al. The role of collagen in determining bone mechanical properties. **Journal of Orthopaedic Research**, v.19, n.6, p.1021-1026, 2001.

WILLIAMNS, B.; SOLOMON, S.; WADDINGTON, D. et al. Skeletal development in the meat type chicken. **British Poultry Science**, v.41, n.2, p.141-149, 2000a.

WILLIAMNS, B.; WADDINGTON, D.; SOLOMON, S. et al, Dietary effects o bone quality and turnover, and Ca and P metabolism in chickens. **Research in Veterinary Science**, v.69, n.1, p.81-87, 2000 b.

WILLIAMNS, B.; WADDINGTON, D.; MURRAY, D.H. et al. Bone strength during growth: influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. **Calcif. Tissue Int.**, v.74, n.3, p.236-245, 2004.

WISE, D. Skeletal abnormalities in table poultry: a review. **Avian Pathology**, v.4, n.1, p.1-10, 1975.

YALÇIN, S., SETTAR, P. AND DICLE, O. Influence of dietary protein and sex on walking ability and bone parameters of broilers. **British Poultry Science**, v.39, n.2, p.251-256, 1998.

YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; COSKUNER, E. et al. Effects of strain, maternal age and sex on morphological characteristics and composition of tibial bone in broilers. **British Poultry Science**, v.42, n.2, p.184-190, 2001.

YOGARATNAM, V. Analysis of the causes of high rates of carcass rejection at a poultry processing plant. **The Veterinary Record**, v.137, n.9, p.215-217, 1995.

YOUNG, M.F. Bone matrix proteins: their function, regulation, and relationship to osteoporosis. **Osteoporos Int**, v.14, n. 3, p. 35-42, 2003.

ZUBAIR, A. K., LEESON, S. Compensatory growth in the broiler chicken: a review. **World's Poult. Sci. J.**, v. 52, p. 189-201, 1996.

APÊNDICE

Quadro 1 - Análise de variância do peso vivo dos frangos de corte (PV) e do peso (PO) e comprimento (CO) dos fêmures no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PV (g) 21 d	PV (g) 28 d	PV (g) 35 d	PV (g) 42 d
Linhagem	2	120700.8*	339888.3*	383936.8*	1422307.0*
Sexo	1	78\030.01*	580186.2*	687053.4*	1337741.0*
Linhagem X Sexo	2	6626.100 ^{ns}	25114.13*	9242.532 ^{ns}	10147.030 ^{ns}
Resíduo	24	2953.234	4219.484	23023.27	70208.090
CV (%)		7.389	5.380	10.455	12.622
		PO (g) 21 d	PO (g) 28 d	PO (g) 35 d	PO (g) 42 d
Linhagem	2	3.005745*	15.14513*	17.57021*	3.810704 ^{ns}
Sexo	1	3.834544*	23.87447*	40.80060*	79.14302*
Linhagem X Sexo	2	0.3389223E-01 ^{ns}	0.8804441*	0.5030613 ^{ns}	2.375847 ^{ns}
Resíduo	24	0.1118975	0.2388279	0.7368552	1.239732
CV (%)		11.634	9.026	9.861	10.591
		CO (cm) 21 d	CO (cm) 28 d	CO (cm) 35 d	CO (cm) 42 d
Linhagem	2	0.1013201 ^{ns}	0.2796805*	0.2586051*	0.3610715E-01 ^{ns}
Sexo	1	0.1666567*	0.7892653*	1.109379*	1.289199*
Linhagem X Sexo	2	0.303335E-03 ^{ns}	0.2697796E-01 ^{ns}	0.6379361E-01 ^{ns}	0.1009043 ^{ns}
Resíduo	24	0.3733082E-01	0.3483399E-01	0.7286859E-01	0.5863596E-01
CV (%)		3.853	3.121	3.971	3.258

* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo.

Quadro 2 - Análise de variância da densidade (d), porosidade (pr) e área da seção transversal (A) dos fêmures de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		D (g/cm ³) 21 d	D (g/cm ³) 28 d	D (g/cm ³) 35 d	D (g/cm ³) 42 d
Linha	2	0.4212992E-03 ^{ns}	0.1093913E-02 ^{ns}	0.1486926E-01 ^{ns}	0.2843486E-02 ^{ns}
Sexo	1	0.2263016E-05 ^{ns}	0.1406206E-01 ^{ns}	0.9408870E-04 ^{ns}	0.4362669E-03 ^{ns}
Linha X Sexo	2	0.4480516E-02 ^{ns}	0.1112774E-01 ^{ns}	0.8770668E-03 ^{ns}	0.5849450E-03 ^{ns}
Resíduo	24	0.2864366E-02	0.8454778E-02	0.5471509E-02	0.3525374E-02
CV (%)		7.050	11.114	8.994	7.056
		PR (%) 21 d	PR (%) 28 d	PR (%) 35 d	PR (%) 42 d
Linha	2	9.575581*	12.94316 ^{ns}	22.50594 ^{ns}	0.2843486E-02 ^{ns}
Sexo	1	4.182459 ^{ns}	133.0120 ^{ns}	1.505474 ^{ns}	0.4362669E-03 ^{ns}
Linha X Sexo	2	3.584250 ^{ns}	99.21738 ^{ns}	4.904216 ^{ns}	0.5849450E-03 ^{ns}
Resíduo	24	2.379127	49.57957	7.159422	0.3525374E-02
CV (%)		2.629	12.135	4.581	7.056
		A (cm²) 21 d	A (cm²) 28 d	A (cm²) 35 d	A (cm²) 42 d
Linha	2	0.1109506E-03 ^{ns}	0.1188305E-01	0.1090804E-01	0.9243733E-02 ^{ns}
Sexo	1	0.1503834E-01	0.2290911E-01	0.2101313E-01	0.1683344
Linha X Sexo	2	0.4499861E-03 ^{ns}	0.8577228E-02*	0.1800313E-02 ^{ns}	0.1670472E-02 ^{ns}
Resíduo	24	0.1679054E-02	0.2189735E-02	0.3195601E-02	0.1046019E-01
CV (%)		17.065	14.768	16.914	23.836

* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo

Quadro 3 - Análise de variância do teor de cinzas (TC), teor de cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e relação Ca:P (Ca:P) dos fêmures de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		TC (%) 21 d	TC (%) 28 d	TC (%) 35 d	TC (%) 42 d
Linha	2	0.2772284E-03 ^{ns}	0.3201645E-03 ^{ns}	0.3611796E-03 ^{ns}	0.8896898E-04 ^{ns}
Sexo	1	0.1043654E-02 ^{ns}	0.6935915E-03 ^{ns}	0.1689867E-04 ^{ns}	0.7404083E-04 ^{ns}
Linha X Sexo	2	0.4940275E-03 ^{ns}	0.1159411E-03 ^{ns}	0.1019953E-03 ^{ns}	0.1577316E-04 ^{ns}
Resíduo	24	0.3643017E-03	0.5474967E-03	0.1533981E-03	0.1240430E-03
CV (%)		3.090	3.735	1.929	1.743
		Ca (%) 21 d	Ca (%) 28 d	Ca (%) 35 d	Ca (%) 42 d
Linha	2	14.38365 ^{ns}	1.912486 ^{ns}	43.96048 [*]	11.45200 ^{ns}
Sexo	1	2.417679 ^{ns}	18.65020 ^{ns}	3.841351 ^{ns}	148.2241 [*]
Linha X Sexo	2	0.2501340 ^{ns}	48.16378 ^{ns}	1.273985 ^{ns}	60.54606 ^{ns}
Resíduo	24	6.054577	34.51056	2.061543	24.46776
CV (%)		6.850	15.903	4.248	13.910
		P (%) 21 d	P (%) 28 d	P (%) 35 d	P (%) 42 d
Linha	2	159.5506 [*]	189.1075 [*]	99.00699 [*]	6.088637 ^{ns}
Sexo	1	357.6925 [*]	99.60127 [*]	37.37550 ^{ns}	77.53984 [*]
Linha X Sexo	2	9.8222000 ^{ns}	0.4294602 ^{ns}	0.5013506 ^{ns}	2.475394 ^{ns}
Resíduo	24	21.42529	13.50754	10.50156	2.473069
CV (%)		15.439	19.061	19.191	9.435
		Mg (%) 21 d	Mg (%) 28 d	Mg (%) 35 d	Mg (%) 42 d
Linha	2	0.2711279E-03 ^{ns}	0.2192223E-01 ^{ns}	0.9528567E-02 [*]	0.6350748E-02 ^{ns}
Sexo	1	0.3842029E-04 ^{ns}	0.1667023E-01 ^{ns}	0.2458580E-02 ^{ns}	0.6849261E-01 [*]
Linha X Sexo	2	0.8042107E-03 ^{ns}	0.1715074E-01 ^{ns}	0.2141855E-02 ^{ns}	0.5340795E-01 [*]
Resíduo	24	0.4760920E-02	0.1815412E-01	0.2245268E-02	0.1534316E-01
CV (%)		8.044	15.943	5.863	14.967
		Ca:P 21 d	Ca:P 28 d	Ca:P 35 d	Ca:P 42 d
Linha	2	0.1013428 [*]	0.5545866 [*]	0.4634803 ^{ns}	0.23777330E-01 ^{ns}
Sexo	1	0.1579519E-01 ^{ns}	0.5559886E-01 ^{ns}	0.9635350 [*]	0.3462242E-01 ^{ns}
Linha X Sexo	2	0.2963683E-02 ^{ns}	0.1421261 ^{ns}	0.5276519E-01 ^{ns}	0.1408547 ^{ns}
Resíduo	24	0.2531923E-01	0.1167447	0.1370823	0.1299464
CV (%)		11.241	18.436	20.985	17.984

* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo.

Quadro 4 – Análise de variância da carga máxima (F), resistência á flexão ou modulo de ruptura (MOR), momento de inércia (I) e energia específica (SPE) dos fêmures de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		F (N) 21 d	F (N) 28 d	F (N) 35 d	F(N) 42 d
Linha	2	1191.198 ^{ns}	4281.087 [*]	13846.37 [*]	13275.49 [*]
Sexo	1	26962.82 [*]	6325.784 [*]	8.237281 ^{ns}	21234.78 [*]
Linha X Sexo	2	3727.504 [*]	408.5790 ^{ns}	100.0038 ^{ns}	2391.190 ^{ns}
Resíduo	24	737.2666	571.6866	1593.996	2123.847
CV (%)		13.414	11.725	18.898	18.716
		MOR (MPa) 21 d	MOR (MPa) 28 d	MOR (MPa) 35 d	MOR (MPa) 42 d
Linha	2	129.3057 ^{ns}	131.8837 ^{ns}	193.3690 ^{ns}	235.0783 [*]
Sexo	1	256.8473 ^{ns}	348.4154 ^{ns}	284.7316 [*]	527.6673 [*]
Linha X Sexo	2	394.8688 ^{ns}	269.9097 ^{ns}	246.6278 [*]	154.1871 [*]
Resíduo	24	148.5556	124.1868	56.98524	28.23855
CV (%)		21.549	25.891	20.085	15.464
		I (m⁴) 21 d	I (m⁴) 28 d	I (m⁴) 35 d	I (m⁴) 42 d
Linha	2	0.2476111E-22 ^{ns}	0.4683341E-20 ^{ns}	0.1995542E-19 [*]	0.2231019E-19 ^{ns}
Sexo	1	0.5865201E-20 [*]	0.2974061E-19 [*]	0.6442454E-19 [*]	0.3649370E-18 [*]
Linha X Sexo	2	0.3951541E-21 ^{ns}	0.7713831E-20 ^{ns}	0.3092172E-20 ^{ns}	0.8416836E-20 ^{ns}
Resíduo	24	0.7432428E-21	0.2561922E-20	0.4988603E-20	0.1850689E-19
CV (%)		28.180	26.812	28.045	36.000
		SPE (KJ/m²) 21 d	SPE(KJ/m²) 28 d	SPE(KJ/m²) 35 d	SPE(KJ/m²) 42 d
Linha	2	1.975325 ^{ns}	14.05422 ^{ns}	18.05510 ^{ns}	1.317099 ^{ns}
Sexo	1	13.66296 ^{ns}	67.45779 ^{ns}	14.75649 ^{ns}	45.57449 [*]
Linha X Sexo	2	20.54912 ^{ns}	9.568077 ^{ns}	31.01911 [*]	6.601275 ^{ns}
Resíduo	24	13.01451	15.89263	5.883026	7.596948
CV (%)		30.007	37.254	20.332	21.479

* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo.

Quadro 5 – Análise de variância da proteína colagenosa (PtnC) e proteína não colagenosa (PtnNC) dos fêmures de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		PtnC (%) 21 d	PtnC (%) 28 d	PtnC (%) 35 d	PtnC (%) 42 d
Linha	2	4.734400 ^{ns}	110.5340 [*]	247.3114 [*]	55.86465 ^{ns}
Sexo	1	28.15832 [*]	25.70615 ^{ns}	39.20701 ^{ns}	18.72779 ^{ns}
Linha X Sexo	2	1.079019 ^{ns}	27.15707 ^{ns}	114.3389 ^{ns}	23.94480 ^{ns}
Resíduo	24	3.988600	12.04746	42.14742	23.40811
CV (%)		12.849	12.996	23.377	17.609
		PtnNC (%) 21 d	PtnNC (%) 28 d	PtnNC (%) 35 d	PtnNC (%) 42 d
Linha	2	2.247298 ^{ns}	0.3171321 ^{ns}	1.116265 [*]	0.2099306E-01 ^{ns}
Sexo	1	0.3076354 ^{ns}	0.5308130E-01 ^{ns}	0.4112981 ^{ns}	0.1992085E-01 ^{ns}
Linha X Sexo	2	1.566437 ^{ns}	0.3938005 ^{ns}	0.4054524 ^{ns}	0.1071007 ^{ns}
Resíduo	24	0.7147160	0.2222163	0.2634642	0.5549654E-01
CV (%)		21.809	33.468	36.603	31.569

* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo