

## Avaliação mecânica e de composição de liga metálica de dois tamanhos de anéis para fixador externo circular de três diferentes fabricantes para cães

Evaluation of Mechanical and Metal Alloy Composition of Two Sizes of Circular External Fixator Rings for Three Different Manufacturers for Dogs

Jaqueline França dos Santos<sup>1</sup>, Cássio Ricardo Auada Ferrigno<sup>1</sup>, César Augusto Martins Pereira<sup>2</sup>, Jim Heiji Aburaya<sup>3</sup>, Evandro Drigo<sup>3</sup>, Alexandre Navarro Alves de Souza<sup>1</sup> & Daniela Fabiana Izquierdo Caquias<sup>1</sup>

### ABSTRACT

**Background:** Circular external skeletal fixator Ilizarov is a fixation method widely used to stabilize fractures. The method is performed using several components but the ring stands out as the fundamental component of this device, and compression loads in the same plane of the ring are mainly due to the wires connected from one side to another of the implant. The axial load is reached on the rings with a proper tension distractor device connected to the wires and fixed with bolts, washers and nuts during surgical procedure. Additional loads to axial tension are employed during patient's physical activities after surgery. The study aimed to compare the resistance to axial compression load and analyze the alloy composition of the Ilizarov rings with different diameter sizes and alloys.

**Materials, Methods & Results:** We tested two diameters of rings acquired from three manufacturers for mechanical axial compression. Manufacture sample (N = 30 rings of each trademark) was divided into two groups (60 and 80 diameter mm). The tests to evaluate strength and deformation parameters were performed in a universal testing machine Kratos @ 3.000 MP KE model, equipped with a load cell of 3000 N with test speed of 10 mm per minute. We also evaluated the elemental alloy composition by the method of the TTPIXE (Thick Target Proton Induced X-Ray Emission) in external PIXE. The Kolmogorov-Smirnov test was used to confirm normal distribution of the data. The comparison between results from manufacturers A, B and C for the two diameters was performed with one-way ANOVA with a post hoc Tukey's test for normal distribution and Kruskal-Wallis with a post hoc Dunn's test was used for means comparison without Gaussian distribution. The level of significance was set at 5 % ( $P < 0.05$ ). The results presented that metal alloy of circular external skeletal fixator rings are mainly composed of aluminum and there are differences in aluminum percentage of alloy composition between different trademarks. Differences between three manufactures were also founded in the resistance to axial mechanical compression tests. The rings of both diameters (60 and 80 mm) provided from manufacturer A were more rigid than other trademarks. A greater resilience was also founded in the 80 mm ring of trademark A than B and C.

**Discussion:** Several trademarks of veterinary orthopedic implants are available but the mechanical properties of these implants are unknown. The selection of material for the implant should start with the identification of the properties required for the application in question and thus meets the expected behavior. Due to the features displayed for each element and examining the alloy components manufacturer for the two diameters tested, it was found that it was an alloy with a lower concentration of aluminum with the addition of copper or copper and zinc, which increases the strength and stiffness of the material. Despite trademarks differences in axial resistance and alloy composition, we believe that the rings provided from all three manufacturers have a good quality based in the minimum values which demonstrated higher resistance to axial loads. Apparently, the mechanical properties of these rings suggest that other factors could be responsible for implant failure. Future studies are encouraged to detect if the other circular external skeletal fixator Ilizarov components could be responsible for implant loss.

**Keywords:** ring fixator, ilizarov, axial compression, TTPIXE, biomechanics, dog.

**Descritores:** anel para fixador, ilizarov, compressão axial, TTPIXE, biomecânica, cão.

## INTRODUÇÃO

O fixador esquelético externo circular de Ilizarov é método de fixação externa amplamente utilizado para tratamento de fraturas complexas [10], desvios angulares [15,31], bem como no alongamento ósseo [28].

A utilização de implantes metálicos de qualidade é importante para o sucesso no tratamento do paciente e retorno precoce à função [20]. Quando existe falha prematura, revisões cirúrgicas são necessárias para troca, resultando em aumento dos custos, trauma tecidual adicional e prolongamento do tempo de tratamento [9].

As ligas metálicas compreendem, no mínimo, dois materiais, sendo necessariamente um deles um metal [19]. As ligas mais comumente utilizadas para fabricação de implantes em ortopedia são: aço inoxidável (liga 316 L) [30], titânio e liga cromo-cobalto-molibdênio [16], porém os anéis de fixador circular de liga de alumínio são mais leves e relativamente radioluscentes [13].

O estudo das propriedades mecânicas baseia-se na resposta dos materiais quando a estes são aplicados forças externas [6]. O anel circular em uso clínico é submetido a uma grande variedade de cargas, incluindo a compressão no mesmo plano devido principalmente aos fios conectados de um lado ao outro do implante [4,5].

Devido à inexistência de normas para fabricação de implantes na veterinária, tivemos como objetivo avaliar a resistência mecânica à compressão axial e a composição das ligas metálicas de anéis de Ilizarov de 3 diferentes fabricantes nacionais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Ensaio biomecânico*

Os ensaios biomecânicos foram realizados no Setor de Biomecânica do Laboratório de Ortopedia e Traumatologia Comparada do Programa de Clínica Cirúrgica Veterinária da FMVZ/USP.

Foram utilizados anéis para fixador externo circular de Ilizarov de três fabricantes nacionais, denominados de fabricante A<sup>1</sup>, B<sup>2</sup> e C<sup>3</sup>, com diâmetro interno aproximado de 60 e 80 mm (milímetros). No ensaio mecânico, foram utilizados 30 anéis, distribuídos em dois grupos (60 e 80 mm) contendo quinze anéis cada grupo. Esses grupos eram formados por cinco anéis de cada fabricante. Os mesmos foram testados quanto

à resistência e rigidez, sendo submetidos a ensaio destrutivo, definido como ensaio de compressão axial.

Os ensaios foram baseados na norma ASTM F1541-02 que descreve os ensaios de compressão para os anéis. Os corpos de prova foram submetidos a teste de compressão axial utilizando máquina Universal de Ensaio Kratos® (Modelo KE 3.000 MP)<sup>4</sup>, com célula de carga de 3000 N (Newton). O procedimento foi realizado com uma velocidade de avanço de 10 mm/min, até falha do implante.

Os anéis foram fixos ao dispositivo por dois orifícios, posicionados a 180° (graus) um do outro. De acordo com a norma estabeleceu-se um coeficiente de deslocamento de 0,2%. O ensaio foi interrompido após deformação de 10% do diâmetro nominal do anel. Os parâmetros força e deformação foram enviados ao computador IBM®-PC através do sistema de aquisição analógica Lynx® modelo ADS-2000.

### *Análise da composição da liga metálica*

A análise da composição da liga metálica foi realizada no Laboratório de Análise de Materiais por Feixes Iônicos (LAMFI) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo com a ajuda do grupo de pesquisa em física aplicada a aceleradores.

Através do método de TPIXE (*Thick Target Proton Induced X-Ray Emission*) em atmosfera que caracteriza a técnica de PIXE (*Proton Induced X-Ray Emission*) externo, utilizando dois padrões para determinar a calibração do arranjo experimental. Foi utilizado um anel de cada diâmetro de cada fabricante para a análise. Na sala de preparação de amostras, uma face do anel foi lixada para retirada da camada de revestimento. Após, o anel foi colocado em aparelho de ultrassom em solução detergente por 5 min, enxágue com água destilada e deionizada, com acetona e com álcool isopropílico e após evaporação do álcool, o anel foi transportado até a sala de análise do LAMFI protegido por papel alumínio.

A carga total de prótons foi calibrada através de um anteparo de grafite ligado a um integrador de corrente. A exposição ao bombardeamento de prótons foi realizada durante 10 min. Esses prótons tinham energia de 2,4 MeV (Megaeletrovolts). A detecção dos raios-X induzidas pelo bombardeamento foi realizada por dois detectores de raios-X tipo Si(Li) (Silício/Lítio).

Os dados foram obtidos por uma eletrônica de aquisição de espectros e de integração de carga. Esses espectros foram acumulados em buffer-multicanal

conectado a um microcomputador pessoal tipo IBM-PC®. A redução de espectros de raios-X foi realizada por meio do programa AXIL.

*Análise estatística*

A distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A comparação entre os resultados dos fabricantes A, B e C, para os dois diâmetros, foi feita com o teste ANOVA sem mensuração repetida com o pós-teste de Tukey para dados com distribuição normal e para dados sem distribuição normal, foi usado o teste de Kruskal-Wallis com o pós-teste de Dunn, com nível de significância estabelecido em  $P \leq 0,05$ .

**RESULTADOS**

*Ensaio biomecânico*

Os ensaios biomecânicos geraram valores de força no limite de escoamento (FLE), força no pico

(FPICO) e rigidez (RIG) [Tabela 1]. A FLE é a força máxima que o material suporta com deformação elástica. A FPICO é a força máxima que o material suporta, antes da falha ou fratura. Já a rigidez diz quanto de força o material suporta, considerando o deslocamento, antes de deformar.

Os valores de FLE e FPICO para o diâmetro de 60 mm não apresentaram diferença estatística ( $P > 0,05$ ) entre os fabricantes testados. O fabricante A obteve valores maiores de FLE e FPICO para o diâmetro de 80 mm e mostrou ser mais rígido que os outros fabricantes para os diâmetros de 60 e 80 mm ( $P < 0,001$ ).

*Análise da composição da liga metálica*

Os anéis eram formados por liga de alumínio, sendo encontrados nas ligas: alumínio, titânio, cromo, manganês, ferro, cobre e zinco (Tabela 2).

**Tabela 1.** Força no limite de escoamento (FLE) e Força no pico (FPICO) em Newton (N) e Rigidez (Rig) em Newton por milímetros (N/mm) obtidos eletronicamente nos testes de compressão axial. São expostos os valores das médias e desvio padrão para os diâmetros de 60 e 80 mm para cada fabricante (A, B e C) com a análise estatística. FMVZ/USP-São Paulo-2012.

Grandeza física	Tamanho do anel	Fabricante A	Fabricante B	Fabricante C
FLE [N]	60 mm	3550,43 ± 445,13 <sup>A</sup>	1912,95 ± 31,07 <sup>A</sup>	1756,4 ± 146,38 <sup>A</sup>
	80 mm	2961,46 ± 67,4 <sup>A</sup>	1460,43 ± 69,82 <sup>B</sup>	1388,64 ± 166,73 <sup>B</sup>
FPICO [N]	60 mm	5342,13 ± 395,54 <sup>A</sup>	2804,09 ± 39,78 <sup>A</sup>	2528,39 ± 102,82 <sup>A</sup>
	80 mm	4508,97 ± 61,1 <sup>A</sup>	2198,88 ± 80,37 <sup>AB</sup>	1934,69 ± 226,03 <sup>B</sup>
Rig [N/mm]	60 mm	2441,44 ± 97,77 <sup>A</sup>	2086,47 ± 75,62 <sup>B</sup>	1934,55 ± 112,47 <sup>B</sup>
	80 mm	1589,15 ± 17,97 <sup>A</sup>	1288,33 ± 30,65 <sup>B</sup>	1116,54 ± 127,04 <sup>C</sup>

Letras iguais= ausência de diferença estatística na mesma linha.

**Tabela 2.** Demonstração das porcentagens dos elementos encontrados na análise da composição da liga metálica, tendo incerteza de 30% ( $1 \approx 30\%$ ). A tabela mostra os três fabricantes nacionais (A, B e C) nas duas medidas testadas (60 e 80 mm). LAMFI/USP-São Paulo-2012.

Fabricante	A60mm	A80mm	B60mm	B80mm	C60mm	C80mm
	c	d	a	b	a	a
Alumínio (Al)	10%	15%	89%	43%	86%	87%
Titânio (Ti)	-	-	-	32%	-	-
Vanádio (V)	-	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	1%	-	-	-	-	-
Manganês (Mn)	-	5%	7%	14%	8%	7%
Ferro (Fe)	2%	4%	4%	9%	6%	5%
Cobre (Cu)	28%	75%	1%	2%	1%	1%
Zinco (Zn)	58%	1%	-	-	-	-

Letras iguais= ausência de diferença estatística na mesma linha.

## DISCUSSÃO

Vários implantes cirúrgicos têm sido desenvolvidos para estabilizar fraturas. O fixador esquelético externo circular de Ilizarov é método de fixação externa amplamente utilizado para tratamento de fraturas complexas [11,21], desvios angulares [29], bem como no alongamento ósseo [28].

O estudo das propriedades mecânicas baseia-se na resposta dos materiais quando a estes são aplicados forças externas [6]. Existem muitos ensaios biomecânicos com fixadores circulares [22]. A maioria deles testa os fios de Kirschner presos ao anel em compressão axial, várias configuração de fixador, diâmetro e números de fios utilizados, angulação entre os fios, assim como, o aparato que fixa o fio ao anel, presença de tensionamento ou não do fio, diâmetro do anel, número de anéis e barras utilizadas. Os testes somente com anéis, sem fios fixos a eles, são geralmente utilizados para testar novas composições do material do anel [4].

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) divulga lista de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) citando somente a norma da ASTM (utilizada neste trabalho para o ensaio de compressão no plano do anel) como norma para o teste, mas observou-se, no entanto, a ausência de versões nacionais de normas para valores de resistência e rigidez para anéis para fixador externo circular de Ilizarov utilizados na Medicina, como existe, por exemplo, para os fios de Kirschner.

O fixador de Ilizarov é aceito em todo o mundo como ferramenta útil para pacientes ortopédicos especialmente em casos complicados. O teste de compressão no plano do anel foi realizado de acordo com a Norma Técnica ASTM-F1541-02-A3 [24]. Este método de ensaio é utilizado para medir resistência e rigidez dos anéis para fixadores externos circulares à compressão quando colocado no plano do anel.

Foram testados 5 anéis de cada diâmetro de cada fabricante em nosso estudo, estudos testaram apenas um anel de cada diâmetro [4,5]. Os resultados de rigidez foram obtidos em N/mm (Newton/Milímetros), corroborando com trabalhos que também utilizaram N/mm em seus estudos [8,25,32].

Para a interpretação dos resultados foram utilizados os parâmetros de rigidez (N/mm), força no limite de escoamento (N - Newton) e força no pico (N) conforme orientação da norma ASTM-F1541-02. Os valores de deformação (N) e deformação relativa

(% - porcentagem) no limite de escoamento e no pico também foram expressos e demonstraram valores maiores para o fabricante A, sendo que o maior valor de deformação foi de 2,78 mm, enquanto estudo relatou valor de 10 mm de deformação no limite de escoamento [18].

O fabricante A, para o diâmetro de 60 mm, foi mais rígido, apresentando valor médio de rigidez de 2441,44 N/mm e de 1589,15 N/mm para o anel de 80 mm, sendo esses valores muito superiores aos relatados anteriormente quando testaram um anel de fibra de carbono (96,34 N/mm) e um anel de fibra de Kevlar (36,477 N/mm) de anéis de 200 mm de diâmetro [4] e de 952,1 N/mm em anéis de 150 mm [12].

Quando comparados os valores de força no limite de escoamento (2961,46 N), força no pico (4508,97 N) e rigidez (1589,15 N/mm) o fabricante A foi superior as outras marcas testadas. Quando esses valores são comparados com os encontrados, são muito superiores mesmo para os anéis com menor resistência e rigidez [4].

A seleção do material para ser destinado à implante deve iniciar com a identificação das propriedades requeridas para a aplicação em questão e conseqüentemente, atender ao comportamento esperado [17,20,29]. Os metais são geralmente utilizados na forma de ligas, ou seja, consistem em misturas de dois ou mais elementos, sendo pelo menos um deles, metal [19,30].

A técnica de PIXE é amplamente utilizada por ser capaz de determinar a composição elementar da amostra [1,2,16,26,27]. Método instrumental não destrutivo, de alta sensibilidade, com uso de feixes externos, possibilitando medir amostras de diferentes tamanhos e formas, sem que haja a necessidade da retirada de pequena amostra para ser levada a câmara de vácuo, por esses motivos, essa técnica foi escolhida para a análise da composição da liga metálica dos anéis estudados.

No plano de ensaio de compressão é fornecido o método mais fácil para a comparação dos anéis de dois materiais diferentes. Os anéis estudados são formados por liga de alumínio, sendo encontrados nas ligas: titânio, cromo, manganês, ferro, cobre e zinco. Estudo testou anéis de 150 mm de diâmetro comparando anéis de alumínio com anéis de aço inoxidável e constatou que os anéis de liga de alumínio possuem 87% da rigidez do anel de aço inoxidável no teste de compressão axial [13].

Os anéis de liga de alumínio testados apresentaram valores superiores de resistência e rigidez quando comparados com os valores encontrados em trabalhos que testaram um diâmetro maior, mas para anéis de aço inox e fibra de carbono em uma estrutura com 4 anéis [4].

Diante das características apresentadas de cada elemento e analisando os componentes da liga do fabricante A, para os dois diâmetros testados, constatou-se que se trata de uma liga com menor concentração de alumínio, com a adição de cobre ou cobre e zinco que aumentam a resistência e rigidez do material [7,23].

Muitas informações foram obtidas com este estudo, mas não existindo valores normatizados, não há como comparar e afirmar aqueles com características de rigidez e resistência adequadas, corroborando com estudos que afirmam que trabalho de normatização é um requisito fundamental para a melhoria da qualidade dos produtos utilizados no Brasil [3,14].

Acreditamos que os anéis provindos do fabricante que obteve uma maior resistência possuem, portanto, melhor qualidade. Contudo, devemos salientar que os nossos resultados não podem ser extrapolados para seu uso clínico, pois os anéis com menor resistência podem não apresentar falhas, a depender da exigência mecânica.

#### CONCLUSÃO

Os anéis para fixador esquelético externo de Ilizarov de três fabricantes nacionais apresentaram

diferenças de desempenho no ensaio mecânico de compressão axial. Os anéis do fabricante A foram mais resistentes (80 mm) e mais rígidos (60 e 80 mm), quando comparados às outras marcas testadas.

Estes anéis que apresentaram melhor desempenho nos testes mecânicos são anéis formados por liga de alumínio contendo menor porcentagem de alumínio e altas porcentagens de cobre e/ou zinco quando comparados aos outros, o que pode ter contribuído para maior resistência e rigidez desses anéis aos testes.

#### MANUFACTURERS

<sup>1</sup>Utilivet Utilidades Veterinárias LTDA®. Jundiaí, SP, Brazil.

<sup>2</sup>Bioconnectvet Indústria e Comércio de implantes e instrumentos para Ortopedia Veterinária. Ipeúna, SP, Brazil.

<sup>3</sup>Cãomédica®. Campinas, SP, Brazil.

<sup>4</sup>Kratos equipamentos. Cotia, SP, Brazil.

**Acknowledgments.** Ao Laboratório de Análise de Materiais por Feixes Iônicos (LAMFI) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo; Ao grupo de pesquisa em física aplicada à aceleradores do Instituto de física da Universidade de São Paulo; Ao Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo; Ao PROAP; A CAPES; Ao Laboratório de Ortopedia e Traumatologia Comparada da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

**Ethical approval.** Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no uso de animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (Protocolo 2468/2011).

**Declaration of interest.** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

#### REFERENCES

- 1 **Aburaya J.H. 2005.** Padronização de análises PIXE de corpo de provas sólidas em alvos espessos. 81f. São Paulo, SP. Dissertação (Mestrado em Física) - Programa de Pós-graduação em ciências, Universidade de São Paulo.
- 2 **Aburaya J.H. 2011.** Modificação superficial de titânio para promoção de osteointegração. 84f. São Paulo, SP. Tese (Doutorado em Física) - Programa de Pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo.
- 3 **Azevedo C.R.F. & Hippert Jr. E. 2002.** Análise de falhas de implantes cirúrgicos no Brasil: a necessidade de uma regulamentação adequada. *Cadernos de Saúde Pública*. 18(5): 1347-1358.
- 4 **Baidya K.P., Ramakrishna S., Rahman M., Ritchie A. & Huang Z. 2003.** An investigation on the polymer composite medical device: external fixator. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 22(6): 563-590.
- 5 **Baidya K.P., Ramakrishna S., Ritchie A. & Rahman M. 2001.** Advanced textile composite ring for Ilizarov external fixator system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. 215(1): 11-23.
- 6 **Callister Junior W.D. 2006.** *Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada*. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 702p.
- 7 **Campos P.H.O.V. 2010.** Estudo e caracterização de pátinas em cobre e bronze com técnicas PIXE e ED-XRF. 97f. São Paulo, SP. Dissertação (Mestrado em Física) - Programa de Pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo.

- 8 Falcão M.V.C. 2004. Avaliação mecânica de compressão axial em dois modelos de fixadores esqueléticos externos de baixo custo. 28f. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação (Mestrado em Clínica Médica Veterinária) - Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- 9 Ferreira R.C. & Mercadante M.T. 2004. Artrodese do tornozelo com fixador externo de Ilizarov. *Revista Brasileira de Ortopedia*. 39(3): 75-93.
- 10 Ferrigno C.R.A., Cunha O., Izquierdo D., Ferraz V.C.M., Ito K.C., Mariani T.C. & Della Nina M.I. 2010. Fixador externo circular (Ilizarov) em não-união de tíbia - relato de caso. *Revista Científica de Medicina Veterinária - Pequenos Animais e Animais de Estimação*. 8(25): 315-318.
- 11 Ilizarov G.A. 1992. Theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue. Berlin: Springer-Verlag, 797p.
- 12 Kummer F.J. 1990. Technical note: evaluation of new Ilizarov rings. *Bulletin of the Hospital for Joint Diseases orthopaedics institute*. 50(1): 88-90.
- 13 Kummer F.J. 1992. Biomechanics of the Ilizarov external fixator. *Clinical orthopaedics and Related Research*. 7(280): 11-14.
- 14 Leivas T.P., Leopizzi N., Cassel A.P., Souza A.S., Oliveira M.A., Catena R.S. & Targa W.H.C. 1996. Determinação da capacidade de retenção dos parafusos fixadores e tensores dos fixadores externos circulares de Ilizarov. *Revista Brasileira de Ortopedia*. 31(8): 638-642.
- 15 Lewis D.D., Bronson D.G., Cross A.R., Welch R.D. & Kubilis P.S. 2001. Axial characteristics of circular external fixator single ring constructs. *Veterinary Surgery*. 30(4): 386-394.
- 16 Mello G.M.R. 2004. Efeito de elementos betagênicos na estabilidade de fases e propriedades de ligas de titânio para implantes ortopédicos. 113f. Campinas, SP. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas Faculdade.
- 17 Mello R.C., Souza C.O., Citeli N.L. & Viana C.S.C. 2009. Alumínio e suas ligas. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 17p.
- 18 Mesa A.C., Manent R.B., Rodríguez R.P. & Canto M.P. 1993. Conversión de un fijador circular en un fijador externo híbrido. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 29(2): 89-97.
- 19 Moreira M.F. 1993. Ligas metálicas. In: Davis J.R. (Ed). ASM Specialty Handbook Aluminum and aluminum alloys. Geauga County: ASM international, 1057p.
- 20 Pereira K.R. 2008. Avaliação da biocompatibilidade in vitro e in vivo de ligas metálicas de titânio para aplicação odontológica. 81.p. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.
- 21 Rahal S.C., Volpi R.S., Hette K., Vulcano L.C. & Büttner R.C. 2005. Emprego de fixador externo circular no tratamento de complicações de fraturas do rádio e ulna em cães de raças pequenas. *Ciência Rural*. 35(5): 1116-1122.
- 22 Rocha C.O.J.M. 2008. Comparação da Avaliação Mecânica de Compressão Axial em Seis Modelos de Fixadores Esqueléticos Externos Confeccionados com Barras Estabilizadoras de polimetacrilato de metila ou de Madeira e Parafusos de Aço Inoxidável 304. 63f. Seropédica, RJ. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- 23 Silva G.M.M.C. 2007. Metais e Ligas Metálicas. Uma abordagem experimental no Secundário. 127f. Porto. Dissertação (Mestrado em Química para o Ensino) - Pós-graduação em Química para o ensino, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- 24 Standard Test method for determining in-plane compressive properties of circular ring or ring segment bridge elements. F1541-02. 2011. Annual book of ASTM standard. 1 CD-ROM.
- 25 Stork C.K., Canivet C., Baidak A.A. & Balligand M.H. 2003. Evaluation of a nontoxic rigid polymer as connecting bar in external skeletal fixators. *Veterinary Surgery*. 32(3): 262-268.
- 26 Tabacniks M.H. 1983. Calibração do sistema PIXE-SP de análise elementar. 114f. São Paulo, SP. Dissertação (Mestrado em Física) - Programa de Pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo.
- 27 Tabacniks M.H. 1997. Análise de filmes finos por PIXE e RBS. 1997. [Fonte: <<http://www2.if.usp.br/~lamfi/pixe&rbs.pdf>>]. Acessado em 06/2014.
- 28 Ting D., Petersen S.W. & Déjardin L.M. 2010. Bone transport osteogenesis for treatment of canine osteomyelitis: A report of two cases. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 23(2): 134-140.

- 29 Tosborvorn S., Cheechareon S., Ruttanuchun K., Sirivedin S. & Rhienumporn C. 2006.** Mechanical Evaluation of Aluminum Alloy Ring Fixator. *Journal of the Medical Association of Thailand*. 89(11): 1896-1901.
- 30 Villamil R.F.V., Aranha H., Afonso M.L.C.A., Mercadante M.T. & Agostinho S.M.L. 2002.** Aços inoxidáveis em implantes ortopédicos: fundamentos e resistência à corrosão. *Revista Brasileira de Ortopedia*. 37(11/12): 471-476.
- 31 Watson M.A., Mathias K.J. & Maffulli N. 2000.** External ring fixator: an overview. Proceeding of the institution mechanical engineers. *Part H: Journal of Engineering in Medicine*. 214(5): 459-470.
- 32 Wells K.L., Pardo A.D., Parrott M.B. & Wassermann J.F. 1997.** A comparison of the mechanical properties of two external fixators designs for transarticular stabilization of the canine hock. *Veterinary and Comparative Orthopedics Traumatology*. 10(1): 58-63.