

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DENSIDADE EM IMAGEM RADIOGRÁFICA

M.J.Q. Louzada¹, C.A. Pelá², W.D. Belangero³ e R. Santos-Pinto⁴

RESUMO -- O propósito deste trabalho foi otimizar a técnica de densitometria óptica em imagens radiográfica, pelas setorizações de curvas características de filmes radiográficos. Foram utilizadas 24 radiografias de penetrômetro (escada) de alumínio, realizadas sem critério rígido de controle de processamento, inclusive reveladas manualmente. As leituras densitométricas foram efetuadas com densitômetro Macbeth TD528. O estudo demonstrou uma otimização na representação das relações entre as densidades ópticas das imagens dos degraus do penetrômetro de alumínio e suas espessuras correspondentes, proporcionadas pelas setorizações das curvas densitométricas características, com erro quadrático médio da ordem de 10^{-5} . Esta otimização viabilizará o emprego desta metodologia em avaliações quantitativas de variações de massa óssea, através de imagens radiográficas.

Palavras-chave: Densidade óptica radiográfica; Densitometria óssea; Fotodensitometria.

INTRODUÇÃO

A densitometria óptica é uma das metodologias utilizadas para inferir o conteúdo mineral de ossos, através de suas imagens radiográficas (Louzada, 1994). Este método de avaliação é relativo, fornecendo valores relacionados à espessura de um penetrômetro, escada normalmente de alumínio, por este material exibir uma curva de absorção da radiação X semelhante à dos ossos (Mack *et alii*, 1959; Owen, 1956), radiografado concomitantemente ao objeto em estudo.

Antes da análise do conteúdo mineral ósseo, deve-se obter a curva densitométrica característica do filme radiográfico, determinada através dos valores de densidade óptica das imagens dos degraus do penetrômetro e de suas respectivas espessuras. Esta curva característica serve como representação dos valores de densidade óptica das imagens radiográficas dos ossos e os relativos à espessura do penetrômetro. Todos os valores de densidade óptica do osso, obtidos na

¹ Professor Assistente Doutor, Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal, Curso de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Caixa Postal 533, 16050-680 - Araçatuba - SP.

² Professor Assistente Doutor, Departamento de Física, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, 14040-901 - Ribeirão Preto - SP.

³ Professor Assistente Doutor, Departamento de Ortopedia e Traumatologia, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade de Campinas, 13081-970 - Campinas - SP.

⁴ Professor Titular, Centro de Assistência Odontológica a Excepcionais, Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, 16015-050 - Araçatuba - SP.

mesma radiografia, são levados a esta curva, de tal forma a serem determinadas suas respectivas espessuras equivalentes, em milímetros de alumínio.

Alguns autores (Dubrez *et alii*, 1992; Duinkerke *et alii*, 1978; Kalebo e Strid, 1988; Lindstrom e Philipson, 1969; Mallon e Mellberg, 1985; Ortmann *et alii*, 1985; Pelá *et alii*, 1990; Strid e Kalebo, 1988; Trouerbach *et alii*, 1984) determinaram equações matemáticas para representar a relação *Densidade Óptica* em função da *Espessura* do penetrômetro de alumínio. Com essas determinações, objetivaram aumentar a sensibilidade do método, em suas correlações de densidade óptica e milímetros de alumínio. Esse aumento de sensibilidade promoveria melhor inferência do conteúdo mineral ósseo presente nas amostras analisadas.

Em 1990, Pelá *et alii* desenvolveram uma expressão matemática representativa da curva sensitométrica ou característica, de filmes radiográficos expostos à radiação X, ou seja, a obtida através da relação entre a densidade óptica e a quantidade de radiação que atinge o filme. Esta expressão baseou-se na probabilidade de interação da radiação X direta ou indireta (pela excitação de uma tela intensificadora) sobre os sais de prata do filme radiográfico, assim:

$$DO = -\log (A + B \times C'), \quad (1)$$

com

$$C' = \exp \{- C \times \exp [- \mu \times X (1 - Aj \times X)]\}, \quad (2)$$

onde: $A = 1/10^{fog}$;
 $B = 1/10^{Dsat}$;
 $C =$ relativo à intensidade de radiação;
 $\mu =$ relativo ao coeficiente de atenuação do material radiografado;
 $Aj =$ fator de ajuste devido ao espectro de radiação; e
 $X =$ espessura do material,

sendo: *fog*, o valor de densidade óptica relativo ao filme processado sem ter sido exposto à radiação (situação teórica em que nenhum grão de prata foi sensibilizado) e *Dsat*, o maior valor de densidade óptica que o filme pode atingir, relativo à situação teórica em que todos os grãos de prata foram sensibilizados pela radiação.

Para obter-se a curva densitométrica característica, Pelá *et alii*. (1992) desenvolveram um programa para computador utilizando o método matemático dos mínimos quadrados, para o qual são fornecidos os valores de densidade óptica obtidos da imagem radiográfica dos degraus de um penetrômetro. A expressão matemática de Pelá *et alii* (1990) representa a relação entre os valores de densidade óptica e os de espessura do penetrômetro padrão e, também, para qualquer outro objeto radiografado simultaneamente a ele. Pelá *et alii* (1992) testaram este programa em 126 imagens radiográficas de um penetrômetro de alumínio, com nove degraus, com variações de espessura entre os degraus de 2mm, obtendo uma precisão com erro de 1,5 a 2,5 %, quando confrontadas as espessuras, em milímetros de alumínio, com as calculadas por esta expressão.

A utilização da densitometria óptica radiográfica, não obstante responder às necessidades de avaliação das modificações ósseas elementares, encontra, ainda, resistência dos clínicos a seu uso. Esta resistência vincula-se às dificuldades de padronizações metodológicas encontradas em

aplicações clínicas, fazendo com que persistam dúvidas quanto à correlação entre a quantidade de mineral presente no tecido estudado e sua quantificação através deste método.

Neste estudo, foi utilizada a expressão de Pelá *et alii* (1990) aplicando-a a setores da curva densitométrica característica, objetivando otimizar, mais ainda, a avaliação das correlações dos valores densitométricos. A otimização dessa metodologia, através de adaptações do programa computacional utilizado por Pelá *et alii* (1992), poderá permitir um aumento de sua sensibilidade, altamente desejável para fins clínicos.

É propósito deste trabalho otimizar a técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas, pelas setorizações de curvas densitométricas características de filmes radiográficos.

MATERIAL E MÉTODO

Para a realização deste estudo foram utilizadas 24 radiografias de um penetrômetro, escada de alumínio de 18 degraus, sendo o primeiro degrau com espessura de 0,5 mm, variando, a seguir, de 0,5 em 0,5 mm até o décimo e, daí, até o último, de 2,0 em 2,0 mm; cada degrau com 5x12 mm de área (Louzada, 1994).

O aparelho de raios X utilizado foi de marca comercial CRX, modelo CRX200, calibrado, com distância foco-filme de 1 m, ajustado para 55 kVp e 5 mAs. Estes valores de tensão, corrente e tempo de exposição não foram controlados rigorosamente, de maneira que o aparelho de raios X foi regulado para a obtenção de imagens radiográficas com contraste suficiente para a quantificação densitométrica das imagens do penetrômetro segundo padrões adequados à sua análise, como ocorre em interpretações de imagens radiográficas por radiologistas clínicos.

Os filmes radiográficos utilizados foram da marca BRAF, não necessariamente do mesmo lote, e a tela intensificadora da marca Universal. Esta não padronização de filmes segundo lotes de fabricação, como utilizada por Carvalho (1979), objetivou verificar se as imagens radiográficas seriam passíveis de serem corrigidas através da metodologia utilizada.

O feixe principal dos raios X foi dirigido perpendicularmente ao centro geométrico da tela, através de referencial luminoso existente no aparelho de raios X, incidindo sobre o penetrômetro. O processo de revelação e fixação foi manual, sem critério rígido de controle dos parâmetros tempo e temperatura das soluções reveladoras. Procurou-se usar procedimentos radiológicos de rotina clínica. A seguir, os filmes foram lavados durante, aproximadamente, 20 minutos e, após a lavagem, secados por um tempo de, aproximadamente, 60 minutos.

As leituras densitométricas foram realizadas com um densitômetro Macbeth TD528*, previamente calibrado. Em cada radiografia, inicialmente, foram feitas as leituras de densidade óptica na região central da imagem radiográfica de cada um dos 18 degraus do penetrômetro e, diretamente no filme, sem imagem, a um centímetro de distância do degrau com 0,5 mm de espessura, no prolongamento do eixo longitudinal da imagem do penetrômetro, estabelecendo a densidade óptica máxima do filme (*Dmax*).

* Equipamento obtido através de bolsa auxílio pesquisa FAPESP; processo 04-Biológicas 75/1068.

Os valores de densidade óptica das imagens dos degraus do penetrômetro, com seus valores de espessura, D_{max} , Fog e D_{sat} de cada radiografia, foram utilizados para gerar sua correspondente expressão matemática (Pelá *et alii*, 1990). Os valores do Fog e D_{sat} foram obtidos baseando-se, respectivamente, na densidade óptica da imagem do maior degrau (21 mm) e na D_{max} . Para a determinação desta expressão, os dados foram levados a um microcomputador AT 386DX, 40 MHz, com 4 MB de memória RAM** para seus cadastramentos, processamentos e recuperações através de programa computacional (Pelá *et alii*, 1992). Este programa foi adaptado no presente trabalho para a realização da setorização da curva densitométrica característica.

O procedimento de setorização foi realizado individualmente em cada uma das radiografias. Primeiramente, era escolhido um setor da curva característica. Este setor era estabelecido através da escolha de dois degraus do penetrômetro, cujos respectivos valores de densidade óptica limitavam a região de estudo interessada. Estes degraus, que determinaram o setor a ser analisado, eram especificados no programa computacional que, a seguir, fornecia a expressão matemática que melhor se ajustou aos pontos experimentais contidos neste intervalo.

Para analisar a setorização das curvas densitométricas características, foram realizados dois testes com as imagens do penetrômetro padrão. No primeiro, foi determinada a expressão matemática que melhor se ajustou aos 18 degraus do penetrômetro, sem setorização. No segundo, determinou-se a expressão que melhor se ajustou ao segmento compreendido entre o 5º e o 8º degrau (escolhidos arbitrariamente).

Foram analisados os erros quadráticos médios, através do programa de Pelá *et alii* (1992), dos resultados da setorização das curvas. Estes erros foram calculados entre os valores de densidade óptica obtidos diretamente das imagens radiográficas dos degraus do penetrômetro e aqueles decorrentes das expressões matemáticas, para todas as radiografias.

Foi realizado, igualmente, um teste de contra-prova. Com os valores de densidades ópticas relativas ao 6º degrau do penetrômetro (3 mm de espessura), obtidos em cada radiografia, o computador calculou suas correspondentes espessuras, utilizando, para tanto, as expressões matemáticas previamente obtidas nas situações sem setorização e com setorização do 5º ao 8º degrau.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentados os valores de densidade óptica relativos às imagens dos degraus do penetrômetro de todas as radiografias. É importante observar que mesmo com as tomadas radiográficas realizadas com mesma técnica e mesmos fatores radiográficos, existe grande variação dos valores de densidade óptica. Esta variação, por si só, é fator que desestimula os profissionais em utilizar radiografias em estudos quantitativos.

Na tabela 2 pode ser verificado um exemplo da setorização proposta (utilizando a radiografia 21) compreendendo o segmento entre o 5º e o 8º degrau (escolhidos arbitrariamente), quando cotejados os valores densitométricos obtidos da imagem radiográfica (coluna a), com os calculados através da expressão matemática proposta (colunas b e c). O erro quadrático médio na situação sem

** Equipamento obtido através de bolsa auxílio pesquisa; processo nº 534/92-DFP (FUNDUNESP).

Tabela 1. Valores de densidade óptica das imagens dos degraus do penetrômetro de alumínio com diferentes espessuras, das radiografias de números 1 a 24. Em negrito estão os valores usados na contra-prova (vide texto)

Penetrômetro		Densidades Ópticas obtidas para cada Radiografia																							
Degrau	Esp.(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0,5	1,34	1,49	1,47	1,51	1,31	1,40	1,64	1,46	1,58	1,56	1,98	1,74	1,64	1,60	1,49	1,98	2,06	1,65	1,46	0,92	2,80	2,90	2,89	1,80
2	1,0	1,23	1,39	1,37	1,41	1,20	1,29	1,53	1,36	1,47	1,47	1,92	1,67	1,54	1,52	1,35	1,87	1,89	1,49	1,30	0,86	2,74	2,87	2,86	1,63
3	1,5	1,12	1,28	1,27	1,29	1,10	1,18	1,42	1,28	1,36	1,38	1,83	1,59	1,44	1,43	1,21	1,76	1,73	1,34	1,15	0,80	2,64	2,81	2,85	1,49
4	2,0	1,03	1,18	1,17	1,18	1,00	1,09	1,33	1,20	1,26	1,32	1,75	1,51	1,35	1,33	1,09	1,66	1,58	1,20	1,02	0,75	2,54	2,76	2,80	1,37
5	2,5	0,93	1,08	1,08	1,08	0,91	1,00	1,23	1,10	1,17	1,25	1,66	1,44	1,27	1,25	0,97	1,56	1,44	1,07	0,89	0,69	2,45	2,71	2,76	1,26
6	3,0	0,85	1,00	0,99	0,99	0,83	0,92	1,14	1,03	1,09	1,18	1,59	1,36	1,18	1,17	0,88	1,49	1,31	0,95	0,78	0,63	2,35	2,59	2,72	1,17
7	3,5	0,78	0,92	0,91	0,90	0,75	0,84	1,07	0,96	1,01	1,10	1,52	1,29	1,10	1,10	0,79	1,41	1,20	0,84	0,67	0,58	2,23	2,49	2,67	1,08
8	4,0	0,71	0,84	0,84	0,83	0,68	0,77	0,99	0,89	0,95	1,05	1,46	1,22	1,02	1,03	0,70	1,34	1,08	0,73	0,58	0,53	2,14	2,39	2,60	0,98
9	4,5	0,64	0,78	0,76	0,77	0,62	0,71	0,92	0,82	0,89	0,99	1,40	1,16	0,96	0,97	0,63	1,29	0,97	0,64	0,50	0,49	2,02	2,30	2,47	0,90
10	5,0	0,59	0,71	0,70	0,71	0,57	0,65	0,85	0,76	0,84	0,94	1,33	1,09	0,89	0,92	0,55	1,24	0,87	0,55	0,43	0,45	1,90	2,19	2,39	0,83
11	7,0	0,42	0,51	0,50	0,52	0,42	0,48	0,63	0,57	0,66	0,73	1,08	0,86	0,66	0,68	0,37	1,09	0,55	0,34	0,29	0,34	1,50	1,80	1,96	0,56
12	9,0	0,33	0,38	0,38	0,40	0,33	0,38	0,48	0,44	0,54	0,55	0,86	0,66	0,49	0,50	0,29	0,99	0,36	0,26	0,23	0,29	1,16	1,42	1,58	0,38
13	11,0	0,28	0,31	0,31	0,34	0,29	0,33	0,39	0,36	0,47	0,44	0,68	0,51	0,39	0,39	0,27	0,93	0,28	0,23	0,21	0,25	0,91	1,13	1,23	0,29
14	13,0	0,26	0,28	0,28	0,30	0,27	0,30	0,34	0,32	0,43	0,37	0,53	0,42	0,33	0,32	0,26	0,89	0,24	0,22	0,20	0,23	0,68	0,89	0,95	0,25
15	15,0	0,25	0,26	0,26	0,28	0,26	0,28	0,31	0,29	0,40	0,32	0,42	0,36	0,29	0,29	0,25	0,85	0,23	0,21	0,20	0,22	0,51	0,70	0,73	0,24
16	17,0	0,24	0,25	0,25	0,27	0,26	0,28	0,28	0,28	0,38	0,29	0,35	0,31	0,26	0,26	0,25	0,83	0,22	0,21	0,20	0,21	0,41	0,54	0,58	0,23
17	19,0	0,24	0,24	0,25	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,36	0,26	0,30	0,28	0,25	0,24	0,24	0,82	0,22	0,21	0,20	0,21	0,35	0,43	0,48	0,22
18	21,0	0,24	0,24	0,25	0,26	0,24	0,27	0,27	0,26	0,34	0,25	0,27	0,26	0,24	0,23	0,24	0,80	0,22	0,21	0,20	0,21	0,33	0,38	0,44	0,22

setorização (coluna b) foi da ordem de 10^{-2} . No entanto, com a setorização proposta entre os degraus 5 e 8, este erro passou para 10^{-4} (coluna c), tornando maior a resolução da interação absorção da radiação X, expressa em suas imagens radiográficas, em função da espessura do material analisado, referenciado em milímetros de alumínio. Entretanto é importante notar que esta melhoria de resolução só ocorreu na região pré-determinada, e que fora desta região, ou seja, para os degraus acima do 9º, os valores se diferenciaram daqueles encontrados diretamente na radiografia. Contudo isto não é significativo pois a escolha de ajuste havia sido feita para o segmento entre o 5º e o 8º degrau.

Tabela 2. Valores de densidade óptica, da imagem dos degraus do penetrômetro de alumínio (a), da radiografia nº 21 e, os calculados sem (b) e com (c) setorização do 5º ao 8º degrau.

Penetrômetro de Alumínio		Densidade Óptica		
Degrau	Esp.(mm)	(a)	(b)	(c)
01	0,50	2,80	2,781	2,783
02	1,00	2,74	2,746	2,730
03	1,50	2,64	2,696	2,654
04	2,00	2,54	2,627	2,558
05	2,50	2,45	2,538	2,452
06	3,00	2,35	2,432	2,343
07	3,50	2,23	2,311	2,237
08	4,00	2,14	2,182	2,138
09	4,50	2,02	2,048	2,048
10	5,00	1,90	1,914	1,968
11	7,00	1,50	1,420	1,743
12	9,00	1,16	1,036	1,650
13	11,0	0,91	0,764	1,671
14	13,0	0,68	0,582	1,811
15	15,0	0,51	0,468	2,094
16	17,0	0,41	0,399	2,509
17	19,0	0,35	0,360	2,802
18	21,0	0,33	0,339	2,840

Valores: fog=0,32; Dmax=2,82 e, Dsat=2,84.

Esta setorização da curva densitométrica propiciou melhoria da qualidade da representação algébrica, via expressão matemática, da relação *densidade óptica radiográfica "versus" espessura de alumínio*, fato observado quando da análise do erro quadrático médio, exibido na tabela 3, cuja média (μ) dos erros para as 24 análises passou de $2,36 \times 10^{-2}$ para $1,91 \times 10^{-5}$, respectivamente, sem e com setorização do 5º ao 8º degrau.

Estes resultados vêm demonstrar que a técnica densitométrica prescinde de padronização rigorosa, já que as análises são feitas de forma relativa, fazendo-se uso de referenciais -

penetrômetro - e, equação algébrica (Pelá *et alii*, 1990). Neste estudo utilizou-se a simulação para o segmento do 5º e o 8º degrau, entretanto a escolha de outros trechos da curva densitométrica característica possibilitaria a obtenção de outras equações matemáticas da mesma radiografia, dependendo dos valores de densidade óptica que se queira avaliar. Evidentemente, há uma limitação natural na análise dos valores de densidade óptica em regiões extremas desta curva, fato que certamente aumentaria a imprecisão dos resultados.

Tabela 3. Radiografias e Erros Quadráticos Médios sem setorização da curva (a) e com setorização (b) do 5º ao 8º degrau.

Radiografia	Erro Quadrático Médio	
	(a)	(b)
1	0,0033	0,000006
2	0,0099	0,0000007
3	0,0073	0,000000018
4	0,011	0,00002
5	0,0062	0,0000035
6	0,0083	0,0000037
7	0,015	0,00005
8	0,0078	0,00000013
9	0,019	0,00002
10	0,017	0,00007
11	0,058	0,0000036
12	0,022	0,0000071
13	0,015	0,0000068
14	0,017	0,0000063
15	0,01	0,00000076
16	0,021	0,00002
17	0,026	0,00005
18	0,011	0,0000099
19	0,0066	0,00002
20	0,0025	0,0000059
21	0,089	0,0001
22	0,098	0,00005
23	0,053	0,000003
24	0,032	0,0000088
μ	0,0236	0,0000191
DP	0,0256	0,0000262

Na tabela 4 estão os valores encontrados no teste de contra-prova, em que foram analisados os valores de densidades ópticas das imagens do 6º degrau, de espessura 3 mm, que vêm confirmar a eficácia desta metodologia. Estas densidades foram levadas ao computador que promoveu os cálculos relativos a cada radiografia, nas situações sem e com setorizações, de forma a estimar os correspondentes valores em espessura.

Assim, a média dos valores sem setorizações exibiu um erro de 0,168, relativo ao valor de espessura do degrau (3 mm), ou seja, um erro percentual de 5,6 %, valor que expressa a exatidão encontrada. Por sua vez, o coeficiente de variação (CV), que foi de 4,35 %, expressa o percentual de dispersão dos valores em torno do valor verdadeiro (relativo à precisão). No entanto, quando se processaram as setorizações das curvas, o valor da média do erro relativo passa para 0,03 % e o coeficiente de dispersão para 0,56 %, valores que atestam a melhoria na exatidão e na precisão proporcionada pela metodologia proposta.

Tabela 4. Teste de contra-prova. Radiografias do degrau de 3 mm. Valores estimados, em espessura de Al, sem setorização (a) e com setorização (b).

Radiografia	Espessura de Al	
	(a)	(b)
1	3,035	3,010
2	3,107	3,002
3	3,095	3,000
4	3,129	2,984
5	3,060	2,992
6	3,079	2,992
7	3,198	3,028
8	3,134	3,001
9	3,212	2,981
10	3,263	2,960
11	3,541	2,990
12	3,308	3,013
13	3,194	3,010
14	3,264	3,011
15	3,006	3,003
16	3,194	2,982
17	3,088	3,019
18	2,971	3,008
19	2,935	2,989
20	3,134	3,014
21	3,343	2,967
22	3,387	3,021
23	3,251	3,011
24	3,127	3,010
μ	3,168	2,999
DP	0,138	0,017
CV(%)	4,35	0,56

CV(%) = coeficiente de variação.

A utilização do penetrômetro com degraus que variam, a partir do primeiro de 0,5 mm de espessura, de 0,5 em 0,5 mm até o 10º degrau e, a partir do 11º ao 18º, de 2 em 2 mm, promoveu a obtenção de imagens mais discretizadas, tornando a equação, gerada através do método dos mínimos quadrados, capaz de detectar pequenas variações em densidade óptica e, assim, capaz de representar com maior fidelidade a interação da radiação X com o padrão de alumínio, registrada na radiografia.

Através da utilização deste penetrômetro para a obtenção dos valores de suas imagens radiográficas, foi possível gerar as equações matemáticas de acordo com Pelá *et alii* (1990). Os ajustes ao programa computacional de Pelá *et alii* (1992) tiveram por objetivo a adequação da expressão matemática a setores pré-determinados da curva característica, fato este que possibilitou a obtenção de equações altamente representativas do evento físico.

CONCLUSÃO

Face à metodologia empregada neste trabalho e a seus resultados, concluímos que as curvas obtidas através de setorizações otimizam a representação matemática das relações entre as densidades ópticas das imagens dos degraus do penetrômetro de alumínio e suas espessuras correspondentes.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, A. (1979). *Mineralização no Processo de Reparo em Feridas de Extração Dentária em Ratos. Contribuição ao Estudo Densitométrico*. Tese de Mestrado, FOA/UNESP, Araçatuba. 45 p.
- DUBREZ, B., JACOT-DESCOMBES, A., PUN, T. and CIMASONI, G. (1992). "Comparison of photodensitometric with high-resolution digital analysis of bone density from serial dental radiographs". *Dentomaxillofacial Radiology*, v. 21, p. 40-44.
- DUINKERKE, A.S.H., Van der POEL, A.C.M., Van der LINDEN, F.P.G.M., DOESBURG, W.H. and LEMMENS, W.A.J.G. (1978). "Compensation of differences in density of radiographs by densitometry". *Dental Radiology*, v. 45, n. 4, p. 637-642.
- KÄLEBO, P. and STRID, K.G. (1988). "Bone mass determination from microradiographs by computer-assisted videodensitometry. II aluminium as a reference substance". *Acta Radiologica*, v. 29, n. 5, p. 611-617.
- LINDSTRÖM, B. and PHILIPSON, B. (1969). "Densitometric evaluation at quantitative microradiograph". *Histochemie*, v. 17, p. 194-200.
- LOUZADA, M.J.Q. (1994). *Otimização da Técnica de Densitometria Óptica em Imagens radiográficas de Peças Ósseas. Estudo "In Vitro"*. Tese de Doutorado, DEB/FEE, UNICAMP, Campinas. 191 p.

- MACK, P.B., VOSE, G.P. and NELSON, J.D. (1959). "New development in equipment for the roentgenographic measurement of bone density". *American Journal of Roentg.*, v. 82, n. 2, p. 303-310.
- MALLON, D.E. and MELLBERG, J.R. (1985). "Analysis of dental hard tissue by computerized microdensitometry". *Journal of Dental Research*, v. 64, n. 2, p. 112-116.
- ORTMAN, L.F., DUNFORD, R., MCHENRY, K. and HAUSMANN, E. (1985). "Subtraction radiography and computer assisted densitometric analyses of standardized radiographs. A comparison study with ^{125}I absorptiometry". *Journal of Periodontal Research*, v. 20, p. 644-651.
- OWEN, M. (1956). "Measurement of the variations in calcification in normal rabbit bone". *Journal of Bone and Joint Surgery*, v. 38B, n. 3, p. 762-769.
- PELÁ, C.A., GHILARDI NETTO, T. e LOUZADA, M.J.Q. (1992). "Avaliações densitométricas com filmes radiográficos, utilizando uma escada de alumínio como referência". *Anais do I Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em Saúde*, Caxambu, MG.
- PELÁ, C.A., LOUZADA, M.J.Q., PAULA, E. e GHILARDI NETTO, T. (1990). "Avaliação sensitométrica de filmes utilizados em radiologia". *Anais da V Reunião Latino Americana de Física Médica, II Workshop, I Workshop de Física Médica e Engenharia Biomédica*, v. 5, Ribeirão Preto, SP.
- STRID, K.G. and KÄLEBO, P. (1988). "Bone mass determination from microradiographs by computer-assisted videodensitometry. I. Methodology". *Acta Radiologica*, v. 29, n. 4, p. 465-472.
- TROUERBACH, W.T., HOORNSTRA, K. and ZWAMBORN, A.W. (1984). "Microdensitometric analysis of interdental bone structure; the development of a registration method". *Dentomaxillofacial Radiology*, v. 13, p. 27-31.

METODOLOGY TO EVALUATION OF DENSITY IN RADIOGRAPHIC IMAGE.

M. J. Q. Louzada¹, C. A. Pelá², W. D. Belangero³ and R. Santos-Pinto⁴.

ABSTRACT -- This study was designed in order to optimize the optical densitometry technique in radiographic images by the setorization of the characteristic curves of the radiographic films. We used 24 radiographs of a stepped aluminium wedge that were taken without rigorous control development and manually revealed. The densitometric values of the steps images and its thickness, for each radiographic, was utilized to generate its particular mathematics expressions that represent its characteristic densitometric curves and then it were used for setorization. The densitometric values were obtained by a Macbeth TD528 densitometer. The study showed an optimization in the representation of the relationship between the optical density of the steps images of the wedge and its correspondent thickness, provided by the setorization, with mean square error around 10^{-5} . This optimization will allow the use of this methodology in quantitative evaluations of bone mass, by radiographic images.

Keywords: Bone densitometry; Radiographic optical densitometry; Photodensitometry.

¹ Associate Professor, Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal, Curso de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, P. O. Box 533, CEP 16050-680 - Araçatuba - SP, Brazil;

² Associate Professor, Departamento de Física, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil;

³ Associate Professor, Departamento de Ortopedia e Traumatologia, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brazil;

⁴ Professor, Centro de Assistência Odontológica a Excepcionais, Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, SP, Brazil.