

**ANDRÉA GONÇALVES**

**ESTUDO DA LIGA DE ALUMÍNIO-COBRE, COMO  
FILTRAÇÃO ALTERNATIVA, PARA RADIAÇÃO X**

Tese apresentada à Faculdade de  
Odontologia de Piracicaba, da Universidade  
Estadual de Campinas, para obtenção do  
grau de Doutor em Radiologia  
Odontológica.

**PIRACICABA**  
2000

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

**ANDRÉA GONÇALVES**

**ESTUDO DA LIGA DE ALUMÍNIO-COBRE, COMO  
FILTRAÇÃO ALTERNATIVA, PARA RADIAÇÃO X**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do grau de Doutor em Radiologia Odontológica.

**Orientador:** Prof. Dr. Frab Norberto Boscolo

***Banca Examinadora:***

Prof. Dr. Agenor Montebelo Filho  
Prof. Dr. Frab Norberto Bóscolo  
Profa. Dra. Gulnara Scaf  
Prof. Dr. José Roberto Tamburus  
Prof. Dr. Nivaldo Gonçalves

Este exemplar foi devidamente corrigido,  
de acordo com a Resolução CPG-036/83  
CPG, 01/09/000

Assinatura do Orientador

PIRACICABA  
2000

|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| UNIDADE      | 30                                  |
| N.º CHAMADA: | T/UNICAMP                           |
|              | G586e                               |
| V.           | Ex.                                 |
| TOMBO BC/    | 42456                               |
| PROC.        | 16 278100                           |
| C            | <input type="checkbox"/>            |
| D            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREC.        | R\$ 09,00                           |
| DATA         | 05/10/00                            |
| N.º CPD      |                                     |

CM-00147189-7

### Ficha Catalográfica

G586e      Gonçalves, Andréa.  
 Estudo da liga de alumínio-cobre, como filtração alternativa para radiação X. / Andréa Gonçalves. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 2000.  
 117p. : il.

Orientador : Prof. Dr. Frab Norberto Bóscolo.  
 Tese (Doutorado) -- Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Espectrometria. 2. Raios X. 3. Radiografia dentária. I. Bóscolo, Frab Norberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marilene Girello CRB / 8 – 6159, da Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba / UNICAMP.



FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de DOUTORADO, em sessão pública realizada em 28 de Junho de 2000, considerou a candidata ANDRÉA GONÇALVES aprovada.

1. Prof. Dr. FRAB NORBERTO BOSCOLO

2. Profa. Dra. GULNARA SCAF

3. Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO TAMBURUS

4. Prof. Dr. NIVALDO GONÇALVES

5. Prof. Dr. AGENOR MONTEBELO FILHO

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

Dedico este trabalho à minha família: **NIVALDO,**  
**WALDEREZ, MÔNICA, MARCELO,**  
**MARISTELA, VICTOR e JÚLIA,** pela  
compreensão dos momentos vividos, pelo  
incentivo constante e pelas lições de vida  
ensinadas.

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

## MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Frab Norberto Bóscolo**, pela oportunidade oferecida quando da minha seleção para o curso, pela amizade e pela orientação segura deste trabalho.

Aos professores da Disciplina de Radiologia, **Prof. Dr. Agenor Montebelo Filho**, **Prof. Dr. Francisco Haiter Neto** e **Profa. Dra. Solange Maria de Almeida**, pelo convívio e pelo que acrescentaram à minha formação.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, onde este sonho se tornou possível.

Ao **Prof. Dr. Nivaldo Gonçalves** e aos alunos de Pós Graduação: **Ana Emilia Figueredo de Oliveira**, **Claudia Haiter**, **Elcio Gomes Carneiro Júnior**, **Fabricio Mesquita Tugi**, **Flávio Ricardo Manzi**, **José Osmar Vasconcelos Filho**, **Marcelo Gonçalves**, **Ricardo Alves Matheus** e **Rívea Inês Ferreira**, por terem aceitado participar da pesquisa como examinadores das radiografias, sendo suas participações de grande importância para a realização do nosso trabalho.

À **Profa. Dra. Gulnara Scaf** e ao **Prof. Dr. Guilherme Monteiro Tosoni**, da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP, pela amizade, compreensão e colaboração durante o período em que me ausentei.

Ao **Prof. Dr. João Manuel Domingos de Almeida Rollo**, do Departamento de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pela disponibilidade e colaboração na etapa de confecção da liga.

Aos funcionários da Disciplina de Radiologia da FOP – UNICAMP e da FOAr - UNESP, e ao funcionário **Antônio Medeiros Filho** da FOAr – UNESP, pela amizade e presteza durante a realização do trabalho.

À **CAPES**, pela concessão da bolsa de estudos que permitiu a elaboração deste trabalho.

Às bibliotecárias **Maria José Peron**, da FOAr – UNESP, **Heloisa Maria Ceccotti** e **Marilene Girello**, da FOP – UNICAMP, pela colaboração nas referências bibliográficas.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

A **Deus**, que nos ilumina e sempre nos acompanha.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | 8  |
| ABSTRACT .....   | 9  |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 10 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                             | 13 |
| 2.1. Espectro de energia dos raios X.....                  | 14 |
| 2.2. Taxa de <i>kerma</i> no ar .....                      | 18 |
| 2.2.1. Contraste .....                                     | 23 |
| 2.3. Qualidade da imagem radiográfica — examinadores ..... | 27 |
| 3. PROPOSIÇÃO .....  | 29 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....                                | 31 |
| 4.1. MATERIAIS .....                                       | 32 |
| 4.1.1. Filtros .....                                       | 32 |
| 4.1.2. Filmes .....  | 33 |
| 4.1.3. Identificadores de filmes .....                     | 33 |
| 4.1.4. Escala de densidade .....                           | 39 |
| 4.1.5. Dispositivo Padronizador .....                      | 39 |
| 4.1.6. Simulador .....                                     | 39 |
| 4.1.7. Feixe de radiação e suas características .....      | 41 |
| 4.1.8. Soluções de processamento .....                     | 42 |
| 4.1.9. Colgaduras .....                                    | 42 |
| 4.1.10. Termômetro .....                                   | 42 |
| 4.1.11. Densitômetro .....                                 | 42 |
| 4.1.12. Espectrometria do feixe de radiação .....          | 43 |
| 4.2 MÉTODOS .....  | 43 |
| 5. RESULTADOS .....  | 51 |
| 5.1. Avaliação dos espectro de energia dos raios X .....   | 52 |
| 5.2. Taxa de <i>kerma</i> no ar .....                      | 69 |
| 5.3. Avaliação da imagem radiográfica - examinadores ..... | 75 |



|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 6.     | DISCUSSÃO .....                                       | 80  |
| 6.1.   | Espectro de energia dos raios X.....                  | 81  |
| 6.2.   | Taxa de <i>kerma</i> no ar .....                      | 83  |
| 6.2.1. | Contraste .....                                       | 87  |
| 6.3.   | Qualidade da imagem radiográfica - examinadores ..... | 88  |
| 7.     | CONCLUSÃO .....                                       | 91  |
|        | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                      | 94  |
|        | ANEXO .....   | 100 |

## RESUMO

Neste trabalho foi estudado o efeito da filtração alternativa de liga de alumínio-cobre em aparelho de raios X odontológicos, avaliando a redução da taxa de *kerma* no ar, o espectro de energia dos raios X e as alterações na qualidade da imagem radiográfica. O estudo foi realizado comparando várias espessuras do filtro de liga de alumínio-cobre, utilizando porcentagens de 2%, 3% e 4% do elemento cobre na liga, com o filtro padrão de alumínio. Os experimentos foram feitos utilizando-se um aparelho de raios X odontológico convencional operando com 60kVp e 70kVp, utilizando filmes do grupo D e E, obtendo radiografias com auxílio de um fantoma de segmento de mandíbula e de uma escala de densidade confeccionada com alumínio laminado. A liga de alumínio-cobre permitiu o endurecimento e a filtração do feixe de raios X em relação ao filtro de alumínio. O uso do filtro de liga de alumínio-cobre resultou em 4,33% a 47,33% de redução da taxa média de *kerma* no ar e indicou contraste da imagem radiográfica sem alteração, quando comparado com a filtração de alumínio, mostrando que os filtros de liga de alumínio-cobre tornam-se alternativas aceitáveis em relação aos filtros de alumínio, considerando que, para o filtro de liga de alumínio-cobre, os tempos de exposição foram iguais ou menores que os utilizados para o filtro padrão de alumínio.

## **ABSTRACT**

This investigation studied the effect of aluminum-copper alloy filtration as an alternative to the dental x-ray beam to assess reduction in x-ray exposure, photon spectra and changes in image quality. The study was made by comparing various thicknesses of aluminum-copper alloy in three different percentages, 2%, 3% and 4% of copper in the alloy, with an aluminum filter. Trials were conducted with an intra-oral dental x-ray unit, using 60kVp and 70kVp, and were done in mandible phantom and in step wedge. Depending on the thickness of the aluminum-copper alloy, the beam could be hardened and filtrated, when compared to using aluminum filtration. The use of the aluminum-copper alloy filters resulted in 4,33% to 47,33% reduction in x-ray exposure and the same image contrast when compared with aluminum filtration, which made them viable as acceptable alternatives to aluminum filtration, considering that the time exposure to aluminum-copper alloy filtration was the same as or less than that for aluminum filtration.

## **1. INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

Para a obtenção de uma radiografia, a associação da corrente elétrica aplicada ao tubo, o tempo de exposição a que é submetido o paciente e a filtração do feixe de radiação X são fatores capazes de modificar o número de fótons e a distribuição da energia melhorando ou não a qualidade da imagem radiográfica.

Os filtros são discos finos de metal, geralmente de alumínio ou cobre ou de materiais formados de elementos de terras-raras, que são adaptados aos aparelhos de raios X, entre o diafragma de chumbo e o tubo de raios X.

Aumentando a espessura de um filtro, aumenta-se a sua ação de filtração, ou seja, ocorre a remoção de um grande número de fótons do feixe de raios X, e quando esse filtro é muito espesso, alguns fótons de alta energia que contribuem para a formação da imagem radiográfica no filme também são removidos. Para compensar a perda desses fótons de alta energia, é necessário, então, um aumento do tempo de exposição, o que acarreta degradação da carga do tubo e redução do contraste da imagem.

Um objetivo importante da radiologia é produzir imagens radiográficas de qualidade enquanto a exposição à radiação, para o paciente, é mantida a mais baixa possível segundo o conceito ALARA (“as low as reasonably achievable”). Esse objetivo pode ser obtido com a modificação do espectro de energia dos raios X por meio da filtração. Quando essa modificação é bem sucedida, ocorre redução da exposição do paciente à radiação X sem comprometer a qualidade da imagem radiográfica. Fazendo uma avaliação desse

assunto, nota-se que, atualmente, o material usado como filtro tem variado a fim de aumentar a eficácia, sem comprometer a qualidade.

Um fator que consideramos de grande importância é o fato de que os filtros de ítrio e nióbio e filtros de elementos terras-raras, como samário, érbio e gadolínio são difíceis de serem encontrados e têm um alto preço.

Portanto, o objetivo deste trabalho será avaliar o uso de filtro de liga de alumínio-cobre em aparelhos de raios X odontológicos convencionais, em relação ao filtro convencional de alumínio, quanto às possíveis alterações que possam ocorrer no espectro de energia, na taxa de *kerma* no ar e na qualidade da imagem radiográfica.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Após o levantamento bibliográfico, foram selecionados alguns trabalhos que apresentaram maior afinidade com o uso de filtros em aparelhos de raios X convencionais, e que foram divididos em grupos a fim de facilitar a exposição sobre o assunto, conforme segue:

### 2.1. Espectro de energia dos raios X

RICHARDS, em 1964, comentando sobre o espectro de energia, discorreu sobre a propriedade dos raios X de transferir energia de um lugar para outro sem um deslocamento correspondente de matéria, considerando que essa transferência de energia é feita por meio de pacotes (feixe) ou quantidades designadas de fótons e medida na unidade chamada quiloeltronvolt (keV). O autor teceu considerações sobre o alcance da energia presente em determinado espectro de raios X, que se estende do zero até o valor máximo que é determinado pela quilovoltagem pico aplicada ao tubo de raios X. Considerou ainda que a filtração do feixe de raios X remove um grande número de fótons de baixa energia e que, por outro lado, um filtro espesso também remove alguns dos fótons de energia mais alta que normalmente contribuem para a formação da imagem radiográfica no filme, ocorrendo então a necessidade de aumentar o tempo de exposição para compensar a perda desses fótons que formariam a imagem, isso porque filtros nunca adicionam, mas somente removem energia do feixe.

Em 1978, CHO *et al.* mediram, com o uso de um detector semicondutor de Si(Li), o espectro de um aparelho de raios X odontológico com filtração inerente de 3mm de alumínio e filtração adicional de 0,1mm de cobre ou 2mm de alumínio num fantoma



feito de acrílico para simular tecido do lábio, nas quilovoltagens de 60kVp, 70kVp, 80kVp e 90kVp. A atenuação dos fótons de baixa energia pelos filtros adicionais foi encontrada como sendo maior do que aquela dos limites mais altos de energia, e o endurecimento da qualidade do espectro foi observado pelos autores. Nesse trabalho também foi ressaltado que as energias médias dos raios X aumentaram linearmente em proporção ao aumento do potencial do tubo.

DUCKWORTH *et al.*, estudando, em 1981, os efeitos da distribuição do espectro na qualidade da imagem radiográfica com filtração seletiva no limite entre 25keV e 45keV, sugeriram que mudanças no espectro, mesmo em quantidades relativamente pequenas, influenciariam o potencial da qualidade do diagnóstico (imagens com qualidades de interpretação adequadas ao diagnóstico) na detecção de cáries simuladas nos incisivos e molares. Os pesquisadores ainda citaram que a filtração com 0,1mm de samário mostra discreta melhora em termos de dose integral e no potencial para qualidade da imagem diagnóstica em relação à filtração convencional de 1,5mm de alumínio a 70kVp.

STEPHENS *et al.*, em 1985, comentando sobre os princípios da Comissão Internacional de Proteção Radiológica sobre redução da dose, quando se referiam à prescrição radiográfica, citaram que um feixe não filtrado de um aparelho odontológico tem uma quantidade de raios X de grande comprimento de onda que são absorvidos pelo paciente sem contribuir para a formação da imagem e que, quando a maioria desses fótons de baixa energia são removidos pela adição de filtros de metais, o feixe passa a ter uma maior proporção de raios X úteis na formação da imagem.

TYNDALL, em 1986, comentou que o aumento da espessura do alumínio e do cobre, quando usados como filtros, pode reduzir a exposição para o paciente, porém resulta em mudança no espectro de energia, o que causa perda inaceitável do contraste da imagem. Os propósitos do estudo desse autor, utilizando filtros convencional de alumínio e experimental terras-raras, foram comparar a relativa atenuação dos fótons e dos valores de exposição, medidos com auxílio de câmara de ionização. E, ainda, determinar mudanças no espectro do feixe de raios X, utilizando um espectrômetro de alta resolução (“Princeton  $\gamma$ -tech high-resolution germanium detecting crystal”) e um analisador multicanal Tracer Northern. Concluiu que a absorção dos fótons pareceu aumentar com o número atômico do material utilizado para filtro.

No ano de 1988, NAGEL comentou que a filtração é usada preferencialmente para remover a porção de baixa energia do espectro de raios X, que tem ou não uma pequena chance de alcançar o filme, e que essa filtração sempre afeta a parte central do espectro – a parte mais essencial do espectro para a formação de imagens úteis, concluindo que filtração adicional geralmente é indesejável quando ocorre sobrecarga do tubo e redução do contraste da imagem.

KAPA *et al.*, em 1990, realizaram estudo com filtração adicional utilizando a placa intensificadora Lanex Regular, uma lâmina de gadolínio (0,127mm), uma de ítrio (0,127mm) e uma de érbio (0,1mm), com o objetivo de verificar qual o mais efetivo para reduzir exposição sem reduzir qualidade da imagem. Para isso, os autores utilizaram um fantoma e uma escala de densidade que foram radiografados com filmes dos grupos D e E, e a partir da densidade óptica foi avaliado um índice de contraste. A camada semi-redutora,

a exposição relativa e uma análise do espectro do feixe simulado no computador também foram determinadas. Foi concluído pelos autores, utilizando colimação retangular, que o uso da placa intensificadora Lanex ou folha de ítrio como filtração adicional do feixe tem o potencial de reduzir a exposição na pele do paciente em 50% daquela proveniente com o uso do filme do grupo E. Os pesquisadores ainda citaram que os examinadores preferiram imagens com o filme do grupo D às imagens com o filme do grupo E e que o propósito do trabalho não era recomendar um ou outro filme, ressaltando, porém, que o uso do filme do grupo D não pode mais ser justificado devido ao risco envolvido. Relataram que a camada semi-redutora, quando aumentada, diminuía o índice de contraste devido às energias médias mais altas dos feixes filtrados testados.

MacDONALD-JANKOWSKI & LAWINSKI, em 1991, utilizando 2,7mm de alumínio com filtração adicional de 0,1mm de érbio, 0,05mm de nióbio, 0,1mm de ítrio, compararam o efeito sobre a dose de radiação, avaliaram o espectro de radiação e a camada semi-redutora em milímetros de alumínio para esses quatro sistemas de filtro. Os autores observaram uma redução substancial do número de fótons de raios X, ao fim da baixa e da alta energia do espectro, que não contribuem significativamente para a formação da imagem e que são primárias para a produção da dose. Em resumo, os pesquisadores citaram que a dose incidente foi significativamente menor e a dose emergente foi maior para os filtros utilizados em relação ao de alumínio, afirmando que a dose total absorvida pelo paciente é menor.

MacDONALD-JANKOWSKI & LAWINSKI, no ano de 1992, responderam aos comentários feitos por WILKS, também em 1992, sobre um artigo publicado em 1991,

do qual constava que a energia mais baixa do feixe de raios X é removida mais efetivamente (do espectro de raios X) pelo uso de filtros “k-edge”, ou seja, o mais importante é a forma do espectro, em particular, a baixas energias e não à energia média.

TETRADIS *et al.*, em 1995, realizaram um estudo com o propósito de (1) examinar o efeito da filtração adicional de nióbio nas doses recebidas em determinados locais da cabeça e pescoço durante exame radiográfico convencional e digital; (2) avaliar densidade e contraste; (3) relacionar alterações da imagem e do espectro de raios X, produzidos por aparelhos auto-retificados e de alta frequência. Os autores verificaram uma redução no feixe incidente de 20% com o uso do filtro nióbio, sustentando as observações de que, com o aumento da espessura da filtração nióbio, o contraste e a dose são reduzidos, necessitando então de tempos de exposição mais longos por causa da intensidade reduzida do feixe de raios X. Comentaram que as camadas semi-redutoras (CSR) indicavam endurecimento do feixe com filtração nióbio.

## 2.2. Taxa de *kerma* no ar

WAINWRIGHT, em 1963, analisou as recomendações de filtração contidas no *Handbook 76*, onde é comentado que um aumento na filtração ou quilovoltagem reduz a dose na pele e a dose profunda somente até a profundidade de 250mm, que é o plano do filme.

No ano de 1970, RICHARDS *et al.* determinaram que a sensibilidade do espectro usando feixe de raios X foi máxima para fótons no alcance de 35keV a 55keV e que, de 37,5keV a 40keV, essa sensibilidade dos fótons era melhorada para radiografia odontológica. Os autores verificaram que, para gerar um feixe de raios X com 70kVp e

filtro de 0,2mm de samário, foi necessário um aumento no tempo de exposição de 2,25 vezes em comparação com um filtro de 2mm de alumínio. Verificaram também uma diminuição da exposição na pele em cerca de 33% e melhora do contraste das imagens radiográficas.

GELSKEY & BAKER encarregaram-se de determinar espessuras de samário necessárias para diminuir a radiação incidente ao paciente e o tempo de exposição utilizando filmes do grupo D, em 1981. Concluíram que tubos de raios X equipados com 0,16mm de espessura de filtro de samário reduzem a exposição à radiação em aproximadamente 40% quando comparados com os de 2,5mm de espessura de filtro de alumínio e que os tempos de exposição devem ser praticamente o dobro para se obter densidades ópticas equivalentes àquelas produzidas com alumínio, porém aceitáveis e capazes de diminuir a falta de nitidez devido a uma provável movimentação.

HORNER *et al.* realizaram um estudo, em 1988, para demonstrar os efeitos da filtração com 0,1mm de érbio adicionado nos aparelhos de raios X odontológicos e os efeitos na dose incidente para radiografias intrabucais. Os autores informaram que houve necessidade de um aumento no tempo de exposição quando usaram filtração de alumínio adicionada a 0,1mm de érbio e uma diminuição da dose incidente, de 24% a 60kVp e de 39% a 70kVp, usando filme Ektaspeed, 15mA e distância foco-filme de 5000mm, sugerindo então que, quando a filtração com érbio fosse utilizada, seria necessário tempo de exposição mais longo.

KOHN *et al.*, em 1988, avaliaram filtros de alumínio, ítrio e cobre com relação a energia efetiva do feixe, exposição de entrada da radiação na pele, carga do tubo de raios

X e qualidade das radiografias resultantes, que foram todas aceitáveis. O filtro de 0,1mm de cobre com 2mm de alumínio operando entre 60kVp e 105kVp forneceu a menor exposição incidente de radiação e o menor aumento na carga do tubo de raios X. Sugeriram que os filtros de cobre são alternativas baratas se comparados aos filtros terras-raras devido aos resultados obtidos.

FARMAN *et al.*, em artigo publicado em 1989, enfocaram os efeitos da filtração alumínio-ítrio sobre a qualidade da imagem, carga do tubo e exposição do paciente à radiação ionizante durante a realização de radiografia dentária intrabucal. Para essa investigação, os autores compararam o uso da filtração inerente de 2,7mm de alumínio equivalente com a adição da filtração alumínio-ítrio (0,1mm de ítrio encaixado entre a filtração de 2,7mm do fabricante e a de 1mm de alumínio de filtração adicional). Mediram a exposição do paciente à radiação com um dispositivo de monitoramento “Victoreen Nero”, relatando uma redução da radiação na exposição por unidade de tempo de 60,2% a 70kVp. Os autores comentaram que a camada semi-redutora a 70kVp foi de 2,6mm de alumínio equivalente sem filtração adicional de alumínio-ítrio e 4,2mm com a filtração adicional. Observaram um aumento no tempo de exposição em aproximadamente 50% com a adição de filtração de alumínio-ítrio e uma redução no contraste do filme.

No mesmo ano, KIRCOS *et al.* avaliaram a qualidade da imagem radiográfica em função da filtração e da quilovoltagem pico com os seguintes filtros: samário, érbio, Lanex e kit com filtro para raios X da Kodak. Sugeriram o uso de filme Ektaspeed a 70kVp (pelo fato de a maioria dos aparelhos de raios X convencionais ter quilovoltagem fixa em 70kVp, segundo os autores) com filtros érbio 0,10mm e samário 0,076mm, tendo em vista a

redução da exposição aos raios X e a manutenção ou o aumento do detalhe da imagem radiográfica. Comentaram, ainda, que a redução da exposição à radiação estava diretamente relacionada com a camada semi-redutora e que a energia média do feixe de raios X aumentava com a filtração adicional.

Ainda em 1989, PETTIGREW & COLLETT avaliaram, em escala de densidade, em um fantoma e em situação clínica com paciente, utilizando aparelhos de raios X GE 1000, a filtração adicional de nióbio 25 $\mu$ m e 30 $\mu$ m a 80kVp, 10mA, e 36 e 19 pulsos, respectivamente, para filme Ultraspeed e Ektaspeed. Os autores mostraram que houve pouca ou nenhuma diferença nas imagens dos degraus da escala de densidade e que, apesar de uma diminuição na densidade ter sido notada, o valor interpretativo das radiografias não foi comprometido. Ressaltada ainda pelos pesquisadores foi a redução na exposição à radiação da pele de aproximadamente 40% quando utilizado o filtro Niobi-X.

CORDT & ENGELKE compararam, em 1990, o efeito de um filtro adicional de nióbio e outro de cobre com relação à dose incidente de radiação no paciente e obtiveram um resultado reduzido para a dose quando utilizado o filtro de cobre.

STIRLING & HOLLOWAY, em 1990, compararam o uso de filtros de alumínio e Niobi-X, utilizando filmes Kodak Ultraspeed, um fantoma com “Lucite” para simular tecido mole, um aparelho de raios X da Weber, modelo 6R (70kVp e 10mA), e dosímetro “Rad-Check Digital Exposure Meter”, com o intuito de determinar se a dose de exposição incidente no paciente poderia ser significativamente reduzida enquanto ainda mantivesse a qualidade adequada da imagem radiográfica. Quando somente o filtro Niobi-X foi usado, a dose incidente foi maior que 360mr, que é a dose máxima permitida pelo

“Healing Arts Radiation Protection (HARP)” para aparelhos com 70kV, e quando esse filtro foi usado combinado com filtro de 2,5mm de alumínio, houve redução da dose em aproximadamente 36% enquanto a qualidade da imagem apresentava-se aceitável e o tempo de exposição não ultrapassava 0,5 segundos. Os autores comentaram que a qualidade da imagem pôde ser mantida usando o filtro nióbio, mas que de nenhum modo a qualidade da imagem aumentava com o seu uso.

BYRNE *et al.*, em 1991, investigaram a redução de dose de radiação usando filtros de nióbio adicionados ao de alumínio nas tomadas de radiografias interproximais e observaram que a dose por filme foi de 126,48 $\mu$ Gy, ou seja, uma redução de 14,8% (na pele), considerando que a dose para filtração convencional foi de 148 $\mu$ Gy.

No mesmo ano, McDONNELL & PRICE avaliaram se a adição de filtração nióbio (30 $\mu$ m) para aparelhos auto-retificados de meia onda convencional e para aparelhos com potencial constante tem alguns efeitos específicos na atenuação. As leituras de exposição registradas foram expressas em termos relativos, considerando que os autores usaram uma profundidade de 20mm de água como a quantidade média equivalente de tecido mole entre a pele e o filme. Relataram que os aparelhos de potencial constante (Belmont Phot-X e Siemens Heliodont MD) ficaram dentro do limite de exposições registradas pelos aparelhos GE 100 e 700. Os autores ainda citaram que feixes mais penetrantes produzem exposições relativamente menores na superfície e exposições relativamente maiores nos tecidos mais profundos com a adição de nióbio.

WHITE & GRATT, em 1991, avaliaram a qualidade subjetiva da imagem radiográfica e a redução na exposição usando filtro nióbio 25 $\mu$ m e 30 $\mu$ m adicionados à



filtração convencional de alumínio e usando filmes Ultraspeed e Ektaspeed da marca Kodak. Os autores concluíram que o uso dos filtros com o filme Ultraspeed não teve a qualidade da imagem reduzida significativamente, ao mesmo tempo que a dose no paciente foi reduzida. Por outro lado, o filme Ektaspeed reduziu a dose no paciente, mas também reduziu a qualidade da imagem radiográfica. Sugeriram que o tempo de exposição deva ser aumentado em aproximadamente 50% quando do uso dos filtros adicionais de nióbio.

PARDINI, no ano de 1995, avaliou a qualidade da imagem radiográfica e a dose de exposição à radiação comparando filmes Ultraspeed e Ekatspeed e usando filtros de alumínio (2mm), zinco (0,15mm) e estanho (0,02mm). O pesquisador concluiu que o filtro de zinco utilizados com os filmes Ektaspeed e Ultraspeed foi o que mais reduziu a dose de radiação e que, com o filtro de estanho, a dose foi maior quando comparada com a do alumínio. Relatou ainda que os examinadores escolheram com maiores notas as radiografias feitas com filtros de estanho, alumínio e zinco, nessa ordem.

WATANABE analisou comparativamente, em 1999, a qualidade da imagem radiográfica e a dose de radiação obtida com o emprego de filtração adicional de 2mm de alumínio, 0,08mm e 0,13mm de cobre utilizando filmes radiográficos dos grupos D e E. Observou redução da dose de exposição à radiação com o uso do filtro de cobre e que a qualidade das imagens radiográficas foi a mesma quando utilizado filtro de alumínio ou de cobre.

#### 2.2.1. Contraste

HUEN *et al.* comentaram, em 1976, que os fótons de baixa energia – abaixo de 30keV – produzidos por aparelhos de raios X convencionais não são tão penetrantes e

contribuem para a dose absorvida sem ajudar significativamente na produção da imagem final e que os fótons de alta energia – acima de 50keV – penetram no paciente e no filme, reduzindo o contraste da imagem. Os autores observaram, então, que os fótons mais úteis seriam aqueles com energia entre 35keV e 45keV e que os elementos mais efetivos em absorver os fótons indesejáveis de alta e baixa energia, de um modo geral, pertencem à família terras-raras na tabela periódica ( $Z = 58-71$ ).

OISHI & PARFITT determinaram, em 1976, os efeitos da variação da quilovoltagem pico e da filtração na densidade, no contraste do filme e na exposição na pele utilizando um aparelho de raios X GE 100 e um S.S. White Co. e quilovoltagens de 70kVp a 90kVp; 2,5mm, 3,0mm e 3,5mm de alumínio de filtração; 15mA e de 15 a 40 pulsos. Relataram que a densidade, o contraste e a exposição na pele diminuíram com a diminuição da quilovoltagem e mostraram que a filtração diminuída aumentava a densidade no filme, no contraste e na exposição na pele.

*A COMMISSION on DENTAL MATERIALS, INSTRUMENTS, EQUIPMENT and THERAPEUTICS*, sob a chefia de STANFORD, em 1977, prepararam recomendações para procedimentos radiográficos odontológicos, afirmando que as radiografias deveriam ser limitadas àquelas situações em que a informação contribuiria para o diagnóstico adequado e nas quais o benefício excede em muito a injúria da radiação, ou seja, a energia efetiva do feixe primário de raios X deveria ser selecionada para satisfazer às exigências do contraste da imagem com a menor exposição possível aos raios X.

No ano de 1986, PONCE *et al.* estudaram o uso de filtros de alumínio com 1mm a 6mm de espessura, gadolínio na forma de placa intensificadora Lanex e ítrio com

0,127mm de espessura em conjunto com filme Ektaspeed para detectar possíveis diferenças clínicas, utilizando um aparelho de raios X Intrex a 70kVp, 10mA e camada semi-redutora equivalente a 2,5mm de alumínio. Os autores comentaram que não houve preferência nem diferença significativa entre as imagens produzidas com os diferentes tipos de filtros, embora, ao avaliarem as radiografias, os examinadores tenham mostrado preferência por aquelas com alto contraste.

MAURIELLO *et al.*, em 1987, determinaram a exposição à radiação utilizando câmara de ionização, o contraste da imagem e os tempos de exposição, além de filtros de: (1) alumínio nas espessuras de 2,5mm, 3,5mm, 4,5mm e 5,5mm; (2) gadolínio e samário, nas espessuras de 0,127mm e 0,25mm; (3) placas intensificadoras Kodak Lanex Regular e Lanex Fino sozinhas e adicionadas a 2,5mm de alumínio. Para isso, usaram um aparelho de raios X da marca GE, modelo 1000, com filtração inerente de 1,0mm. Os autores verificaram que, quando a espessura do filtro aumentava, o contraste da imagem e a exposição incidente diminuía.

PONCE *et al.*, no ano de 1988, realizaram um estudo para investigar a redução na superfície de exposição, usando dois filtros de érbio adicionados a filtração inerente de 2,7mm de alumínio equivalente, em um aparelho de raios X Gendex com um fantoma que consistia de uma mandíbula e uma escala de densidade. A partir das leituras das densidades, foi calculado o índice de contraste, sendo então solicitado a dez observadores que expressassem suas preferências pelas radiografias feitas com filmes Ultraspeed e Ektaspeed. Os autores relataram reduções substanciais na exposição superficial quando usados filtros de érbio, principalmente com filme do grupo E, tendo a redução sido da

ordem de 65%. Porém, ressaltaram que isso ocorreu à custa do contraste reduzido, considerando que, na maioria das vezes, a imagem escolhida pelos observadores era a de alto contraste.

No ano de 1990, JANGLAND & AXELSSON examinaram a filtração adicional de cobre (0,18mm e 0,09mm) e de nióbio (50 $\mu$ m) e, para compensar a absorção extra de fótons feita pelos filtros adicionais, os autores indicaram que houve redução do contraste da imagem e aumento da carga do tubo. Os autores ainda comentaram que esses fatores devem ser ponderados, considerando o benefício da redução da dose absorvida pelo paciente, quando da decisão de utilizar ou não filtração adicional.

MCDONNELL & PRICE, em 1992, compararam os efeitos da adição de filtração nióbio a 1,5mm de filtração de alumínio num aparelho GE 700 usando 70kVp e a 3,5mm de filtração de alumínio num aparelho de raios X GE 100 usando 90kVp a fim de avaliar a qualidade da imagem radiográfica. No primeiro aparelho foram usadas as seguintes combinações de filtro: 1,5mm de alumínio, 1,5mm de alumínio mais 30 $\mu$ m de nióbio, 4,7mm de alumínio e 8,3mm também de alumínio e, no segundo aparelho citado, foram usados os seguintes filtros: 3,5mm de alumínio, 3,5mm de alumínio mais 30 $\mu$ m de nióbio, 6,7mm de alumínio e 10,3mm de alumínio. Os autores observaram que, quando o contraste radiográfico diminuía linearmente, a camada semi-redutora aumentava, mostrando que, quando o filtro de nióbio não recebia boa avaliação pelos examinadores em relação à qualidade da imagem, o alumínio também não recebia boa avaliação.

### 2.3. Qualidade da imagem radiográfica – examinadores

PRICE, em 1986, comparou com avaliação subjetiva as radiografias feitas com diferentes qualidades do feixe e, para isso, utilizou filmes do grupo D e aparelhos de raios X GE 100 e 700 com as seguintes combinações de quilovoltagens e filtração: 90kVp com 3,5mm e 2,5mm de alumínio; 70kVp com 2,5mm e 1,5mm de alumínio e 50kVp com 1,5mm de alumínio. Um grupo de vinte observadores foi selecionado para avaliar as radiografias feitas num fantoma. O autor citou que a pesquisa falhou quando deveria mostrar benefícios ao selecionar a energia do feixe dentro do limite acima citado porque as preferências subjetivas dos examinadores persistiram. Ele ainda comentou que as radiografias mais escolhidas foram aquelas com energias do feixe mais baixas, sendo a mais favorecida a de 70kVp e 2,5mm de filtração de alumínio. Afirmou, também, que a baixa energia de feixe deveria ser evitada por causa da reduzida sensibilidade da emulsão.

MAURIELLO *et al.* realizaram, em 1989, um estudo para comparar o resultado de radiografias interproximais expostas com um filtro de alumínio e outras com um filtro composto de alumínio e samário em relação à ausência, à presença e à profundidade de cáries. Os pesquisadores relataram que as radiografias interproximais produzidas com o filtro testado, após serem avaliadas por dois examinadores, ofereceram a possibilidade de informação comparável sobre interpretação radiográfica e uma menor dose em relação às radiografias expostas com um filtro convencional de alumínio.

TAMBURÚS, no ano de 1991, analisou comparativamente filmes Ultraspeed e Ektaspeed e filtros de 2mm de alumínio e 2mm de alumínio adicionado a 0,1mm de cobre usando colimadores de aberturas circular e retangular. O autor mostrou resultados que

indicavam ter o uso de filmes Ultraspeed, filtro de alumínio e colimador retangular produzido imagens radiográficas de qualidade superior e o uso de filmes Ektaspeed, filtro de alumínio mais cobre e colimador retangular reduzido significativamente a dose à radiação.

Em 1995, MacDONALD-JANKOWSKI *et al.* estudaram a qualidade da imagem radiográfica com o uso de filmes Ultraspeed e Ektaspeed utilizando filtro de 2,7mm de alumínio e com os seguintes filtros adicionados ao de alumínio: 0,1mm de érbio, 0,05mm de nióbio e 0,1mm de ítrio. Os autores não observaram nenhuma diferença significativa na qualidade da imagem, concluindo que o uso de filmes Ektaspeed em adição aos filtros “k-edge” não tem maiores efeitos na imagem radiográfica.

MAURIELLO *et al.*, em 1996, avaliaram, nas radiografias interproximais de 39 pacientes, as imagens de presença e profundidade de cárie obtidas com filtros de alumínio e samário adicionado ao alumínio. Os autores mostraram que os resultados das imagens radiográficas feitas com filtros de alumínio ou com alumínio mais samário eram comparáveis, usados com filme Ektaspeed, apesar do tempo de exposição ter sido maior com o filtro composto de alumínio e samário, e sugeriram que essa combinação filme/filtro parecia ser boa para conseguir redução da dose sem comprometer o resultado da imagem radiográfica.

### **3. PROPOSIÇÃO**

### 3. PROPOSIÇÃO

Após a revisão da literatura, foi possível constatar uma grande variedade de materiais utilizados como filtros em uso na Odontologia, com diferentes comportamentos. Por esses motivos, nos propusemos a:

avaliar o espectro de energia dos aparelhos de raios X odontológicos ao se utilizar filtros de liga de alumínio-cobre, determinando a taxa média de *kerma* no ar e a qualidade da imagem radiográfica obtida, utilizando 60kVp e 70kVp.



## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS

#### 4.1.1. Filtros

Foram confeccionados 22 filtros de liga monofásica (FIG. 1) segundo o diagrama de fase da coleção do Grupo Científico Europeu “Thermodata” (SGTE, 1997) de alumínio-cobre (AlCu), de números atômicos 13 e 29, respectivamente. A confecção da liga foi feita no laboratório da Disciplina de Materiais da Faculdade de Engenharia de São Carlos–USP, em diferentes porcentagens e espessuras, respeitando o limite de solubilidade e a homogeneidade dos elementos alumínio e cobre, como mostra a TAB. 1:

TABELA 1

Distribuição da porcentagem dos elementos alumínio (Al) e cobre (Cu) na liga, segundo a sigla da liga.

| Sigla da liga | Porcentagem |       |
|---------------|-------------|-------|
|               | Alumínio    | Cobre |
| AlCu 2%       | 98          | 2     |
| AlCu 3%       | 97          | 3     |
| AlCu 4%       | 96          | 4     |

As espessuras dos filtros foram medidas no centro de cada um deles utilizando-se um micrômetro Tesa – Renens Lausanne – Breveté 1DIV = 0,01mm (0 – 25mm, fabricado na Suíça), como mostra a TAB.2.

TABELA 2

Distribuição da espessura em milímetros da liga de alumínio-cobre (AlCu), segundo a porcentagem.

| Porcentagem da liga | Espessura (mm) | Porcentagem da liga | Espessura (mm) |
|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| AlCu 2%             | 0,52           | AlCu 3%             | 0,97           |
| AlCu 2%             | 0,98           | AlCu 3%             | 1,13           |
| AlCu 2%             | 0,99           | AlCu 3%             | 1,37           |
| AlCu 2%             | 1,14           | AlCu 3%             | 1,76           |
| AlCu 2%             | 1,29           | AlCu 3%             | 2,10           |
| AlCu 2%             | 2,12           | AlCu 4%             | 0,25           |
| AlCu 2%             | 2,28           | AlCu 4%             | 0,60           |
| AlCu 3%             | 0,34           | AlCu 4%             | 0,99           |
| AlCu 3%             | 0,40           | AlCu 4%             | 1,24           |
| AlCu 3%             | 0,54           | AlCu 4%             | 1,59           |
| AlCu 3%             | 0,79           | AlCu 4%             | 2,33           |

#### 4.1.2. Filmes

Foram utilizados filmes intrabucais fabricados pela Kodak Eastman Company, Rochester, USA, do tipo Ultraspeed, DF-58, e Ektaspeed Plus, EP-21, de emulsões nº 3100034 e 3100071, respectivamente, e classificados quanto à sensibilidade nos grupos “D” e “E”.

#### 4.1.3. Identificadores de filmes

Foram utilizados letras e números metálicos da marca Hawe – Neos Dental – Suisse, para identificar os filmes intrabucais, os quais foram adaptados nas bordas do invólucro do filme.

As radiografias foram identificadas e suas identificações constam das TAB. 3 a 8. Em algumas situações, como durante o uso do filme Ultraspeed e de 60kVp, nem todas

as combinações de espessuras de filtro da liga foram utilizadas porque o tempo de exposição necessário seria longo para a sensibilização do filme, o que levaria a um grande aumento da dose. Foi utilizado um tempo de exposição considerado correto (C) e três variações em relação a esse tempo: N, I e M.

TABELA 3

Distribuição dos códigos das radiografias segundo os tipos de filme, Ultraspeed e Ektaspeed Plus, e os tempos de exposição utilizados (C, N, I e M) com filtração equivalente a 1,83mm de alumínio e quilovoltagem de 60kVp.

| Filme          | Códigos das radiografias |      |      |      |
|----------------|--------------------------|------|------|------|
|                | C                        | N    | I    | M    |
| Ultraspeed     | ASW                      | ASWN | ASWI | ASWM |
| Ektaspeed Plus | BSW                      | BSWN | BSWI | BSWM |

A = filme Ultraspeed

B = filme Ektaspeed Plus

S = 60kVp

W = filtro de alumínio

TABELA 4

Distribuição dos códigos das radiografias segundo os tipos de filme, Ultraspeed e Ektaspeed Plus, e os tempos de exposição utilizados (C, N, I e M) com filtração equivalente a 1,83mm de alumínio e quilovoltagem de 70kVp.

| Filme          | Códigos das radiografias |      |      |      |
|----------------|--------------------------|------|------|------|
|                | C                        | N    | I    | M    |
| Ultraspeed     | ATW                      | ATWN | ATWI | ATWM |
| Ektaspeed Plus | BTW                      | BTWN | BTWI | BTWM |

A = filme Ultraspeed

B = filme Ektaspeed Plus

T = 70kVp

W = filtro de alumínio

TABELA 5

Distribuição dos códigos das radiografias e dos tempos de exposição (C, N, I e M) com filme Ultraspeed, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm), utilizando 60kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Códigos das radiografias |         |         |         |
|----------------------|----------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                      |                | C                        | N       | I       | M       |
| 2                    | 0,52           | ASKX4                    | ASKX4N  | ASKX4I  | ASKX4M  |
| 2                    | 0,98           | ASKX19                   | ASKX19N | ASKX19I | ASKX19M |
| 2                    | 0,99           | ASKX9                    | ASKX9N  | ASKX9I  | ASKX9M  |
| 2                    | 1,14           | ASKX6                    | ASKX6N  | ASKX6I  | ASKX6M  |
| 2                    | 1,29           | ASKX7                    | ASKX7N  | ASKX7I  | ASKX7M  |
| 3                    | 0,34           | ASKY3                    | ASKY3N  | ASKY3I  | ASKY3M  |
| 3                    | 0,40           | ASKY5                    | ASKY5N  | ASKY5I  | ASKY5M  |
| 3                    | 0,54           | ASKY0                    | ASKY0N  | ASKY0I  | ASKY0M  |
| 3                    | 0,79           | ASKY8                    | ASKY8N  | ASKY8I  | ASKY8M  |
| 3                    | 0,97           | ASKY1                    | ASKY1N  | ASKY1I  | ASKY1M  |
| 4                    | 0,25           | ASKZ2                    | ASKZ2N  | ASKZ2I  | ASKZ2M  |
| 4                    | 0,60           | ASKZ5                    | ASKZ5N  | ASKZ5I  | ASKZ5M  |
| 4                    | 0,99           | ASKZ1                    | ASKZ1N  | ASKZ1I  | ASKZ1M  |

A = filme Ultraspeed

S = 60kVp

K = filtro de liga de alumínio-cobre

X = 2% de cobre na liga

Y = 3% de cobre na liga

Z = 4% de cobre na liga

TABELA 6

Distribuição dos códigos das radiografias e dos tempos de exposição (C, N, I e M) com filme Ultraspeed, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm), utilizando 70kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Códigos das radiografias |         |         |         |
|----------------------|----------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                      |                | C                        | N       | I       | M       |
| 2                    | 0,52           | ATKX4                    | ATKX4N  | ATKX4I  | ATKX4M  |
| 2                    | 0,98           | ATKX19                   | ATKX19N | ATKX19I | ATKX19M |
| 2                    | 0,99           | ATKX9                    | ATKX9N  | ATKX9I  | ATKX9M  |
| 2                    | 1,14           | ATKX6                    | ATKX6N  | ATKX6I  | ATKX6M  |
| 2                    | 1,29           | ATKX7                    | ATKX7N  | ATKX7I  | ATKX7M  |
| 3                    | 0,34           | ATKY3                    | ATKY3N  | ATKY3I  | ATKY3M  |
| 3                    | 0,40           | ATKY5                    | ATKY5N  | ATKY5I  | ATKY5M  |
| 3                    | 0,54           | ATKY0                    | ATKY0N  | ATKY0I  | ATKY0M  |
| 3                    | 0,79           | ATKY8                    | ATKY8N  | ATKY8I  | ATKY8M  |
| 3                    | 0,97           | ATKY1                    | ATKY1N  | ATKY1I  | ATKY1M  |
| 4                    | 0,25           | ATKZ2                    | ATKZ2N  | ATKZ2I  | ATKZ2M  |
| 4                    | 0,60           | ATKZ5                    | ATKZ5N  | ATKZ5I  | ATKZ5M  |
| 4                    | 0,99           | ATKZ1                    | ATKZ1N  | ATKZ1I  | ATKZ1M  |

A = filme Ultraspeed

T = 70kVp

K = filtro de liga de alumínio-cobre

X = 2% de cobre na liga

Y = 3% de cobre na liga

Z = 4% de cobre na liga

TABELA 7

Distribuição dos códigos das radiografias e dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M) com filme Ektaspeed Plus, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm), utilizando 60kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Códigos das radiografias |         |         |         |
|----------------------|----------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                      |                | C                        | N       | I       | M       |
| 2                    | 0,52           | BSKX4                    | BSKX4N  | BSKX4I  | BSKX4M  |
| 2                    | 0,98           | BSKX19                   | BSKX19N | BSKX19I | BSKX19M |
| 2                    | 0,99           | BSKX9                    | BSKX9N  | BSKX9I  | BSKX9M  |
| 2                    | 1,14           | BSKX6                    | BSKX6N  | BSKX6I  | BSKX6M  |
| 2                    | 1,29           | BSKX7                    | BSKX7N  | BSKX7I  | BSKX7M  |
| 3                    | 0,34           | BSKY3                    | BSKY3N  | BSKY3I  | BSKY3M  |
| 3                    | 0,40           | BSKY5                    | BSKY5N  | BSKY5I  | BSKY5M  |
| 3                    | 0,54           | BSKY0                    | BSKY0N  | BSKY0I  | BSKY0M  |
| 3                    | 0,79           | BSKY8                    | BSKY8N  | BSKY8I  | BSKY8M  |
| 3                    | 0,97           | BSKY1                    | BSKY1N  | BSKY1I  | BSKY1M  |
| 3                    | 1,37           | BSKY15                   | BSKY15N | BSKY15I | BSKY15M |
| 4                    | 0,25           | BSKZ2                    | BSKZ2N  | BSKZ2I  | BSKZ2M  |
| 4                    | 0,60           | BSKZ5                    | BSKZ5N  | BSKZ5I  | BSKZ5M  |
| 4                    | 0,99           | BSKZ1                    | BSKZ1N  | BSKZ1I  | BSKZ1M  |
| 4                    | 1,59           | BSKZ15                   | BSKZ15N | BSKZ15I | BSKZ15M |

B = filme Ektaspeed Plus

S = 60kVp

K = filtro de liga de alumínio-cobre

X = 2% de cobre na liga

Y = 3% de cobre na liga

Z = 4% de cobre na liga

TABELA 8

Distribuição dos códigos das radiografias e dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M) com filme Ektaspeed Plus, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm), utilizando 70kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Códigos das radiografias |          |          |          |
|----------------------|----------------|--------------------------|----------|----------|----------|
|                      |                | C                        | N        | I        | M        |
| 2                    | 0,52           | BTKX4                    | BTKX4N   | BTKX4I   | BTKX4M   |
| 2                    | 0,98           | BTKX19                   | BTKX19N  | BTKX19I  | BTKX19M  |
| 2                    | 0,99           | BTKX9                    | BTKX9N   | BTKX9I   | BTKX9M   |
| 2                    | 1,14           | BTKX6                    | BTKX6N   | BTKX6I   | BTKX6M   |
| 2                    | 1,29           | BTKX7                    | BTKX7N   | BTKX7I   | BTKX7M   |
| 2                    | 2,12           | BTKX196                  | BTKX196N | BTKX196I | BTKX196M |
| 2                    | 2,28           | BTKX79                   | BTKX79N  | BTKX79I  | BTKX79M  |
| 3                    | 0,34           | BTKY3                    | BTKY3N   | BTKY3I   | BTKY3M   |
| 3                    | 0,40           | BTKY5                    | BTKY5N   | BTKY5I   | BTKY5M   |
| 3                    | 0,54           | BTKY0                    | BTKY0N   | BTKY0I   | BTKY0M   |
| 3                    | 0,79           | BTKY8                    | BTKY8N   | BTKY8I   | BTKY8M   |
| 3                    | 0,97           | BTKY1                    | BTKY1N   | BTKY1I   | BTKY1M   |
| 3                    | 1,13           | BTKY83                   | BTKY83N  | BTKY83I  | BTKY83M  |
| 3                    | 1,37           | BTKY15                   | BTKY15N  | BTKY15I  | BTKY15M  |
| 3                    | 1,76           | BTKY18                   | BTKY18N  | BTKY18I  | BTKY18M  |
| 3                    | 2,10           | BTKY183                  | BTKY183N | BTKY183I | BTKY183M |
| 4                    | 0,25           | BTKZ2                    | BTKZ2N   | BTKZ2I   | BTKZ2M   |
| 4                    | 0,60           | BTKZ5                    | BTKZ5N   | BTKZ5I   | BTKZ5M   |
| 4                    | 0,99           | BTKZ1                    | BTKZ1N   | BTKZ1I   | BTKZ1M   |
| 4                    | 1,24           | BTKZ12                   | BTKZ12N  | BTKZ12I  | BTKZ12M  |
| 4                    | 1,59           | BTKZ15                   | BTKZ15N  | BTKZ15I  | BTKZ15M  |
| 4                    | 2,33           | BTKZ152                  | BTKZ152N | BTKZ152I | BTKZ152M |

B = filme Ektaspeed Plus

T = 70kVp

K = filtro de liga de alumínio-cobre

X = 2% de cobre na liga

Y = 3% de cobre na liga

Z = 4% de cobre na liga



#### 4.1.4. Escala de densidade

Foi confeccionada uma escala de densidade (FIG. 2), em alumínio laminado, com 8 degraus, nas seguintes espessuras: 2mm, 4mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 14mm e 16mm e tendo como medida base 10mm x 32mm, como descrito por MANSON-HING & BLOXOM (1985).

#### 4.1.5. Dispositivo Padronizador

Também foi confeccionado um dispositivo em acrílico, que foi usado durante as exposições dos filmes aos raios X, a fim de manter a distância foco-filme fixa e permitir que o feixe central de raios X incidisse perpendicularmente ao objeto radiografado e ao filme (FIG. 3).

#### 4.1.6. Simulador

Para a avaliação subjetiva da imagem radiográfica era necessário padronizar a obtenção das radiografias periapicais e, com essa finalidade, foi confeccionado um fantoma a partir de um segmento de mandíbula do lado esquerdo, contendo os primeiro, segundo e terceiro molares, incluído em resina acrílica quimicamente ativada da marca Clássico, o que permitia a simulação de tecidos moles quanto à absorção e emissão de radiação secundária, conforme trabalho de CASATI ALVARES *et al.* (1969). Foi feita uma ranhura no acrílico da face lingual do fantoma para adaptar o filme com o longo eixo na horizontal na região dos molares e permitir que ambos ficassem perpendiculares à incidência dos raios X (FIG. 4)

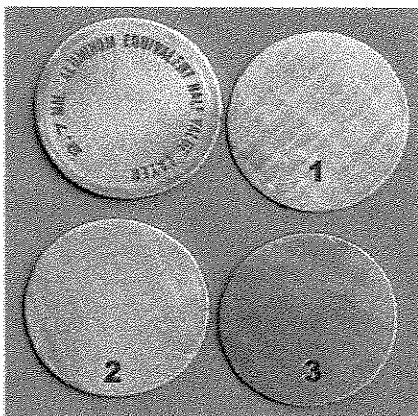


FIGURA 1 - Filtros utilizados: alumínio, número 1: filtro de liga de alumínio-cobre a 2%, número 2: filtro de liga de alumínio-cobre a 3% e número 3: filtro de liga de alumínio-cobre a 4%.

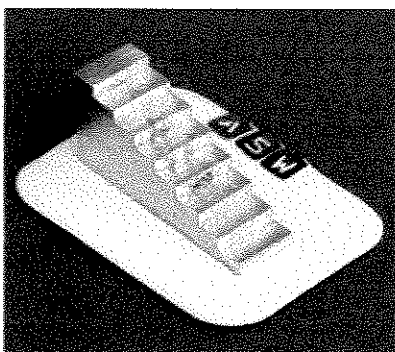


FIGURA 2 - Escala de densidade posicionado sobre o filme radiográfico, com identificadores metálicos.

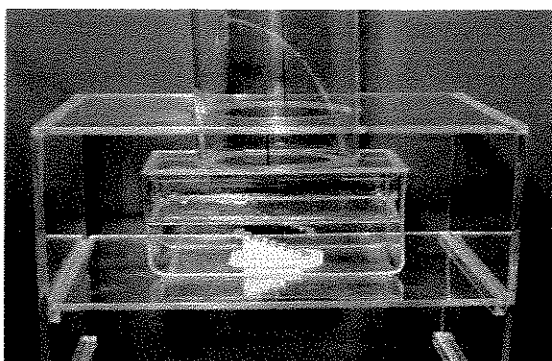


FIGURA 3 - Escala de densidade posicionada sobre o filme radiográfico, dentro do dispositivo padronizador, conforme utilizado nas tomadas radiográficas..

#### 4.1.7. Feixe de radiação e suas características

Foi utilizado um aparelho de raios X da marca General Eletric, modelo GE 100, possuindo filtração equivalente a 1,83mm de alumínio operando 60kVp e 70kVp, diafragma de chumbo com 12mm, amperímetro de 10mA e 15mA, seletor de tempo (em pulsos) e cilindro plástico aberto de 240mm de comprimento e 70mm de diâmetro com colimador metálico de 85mm de comprimento e 30mm de diâmetro. A distância foco-filme era de aproximadamente 400mm quando o aparelho foi adaptado ao dispositivo padronizador, simulando a Técnica do Paralelismo e fazendo com que o feixe central de raios X incidisse perpendicularmente ao objeto e filme.

A reprodutibilidade da quilovoltagem do tubo foi verificada usando-se um medidor fabricado pela *Unfors Instruments*, tipo 9002 ( série 80961), calibrado em 30 de setembro de 1999 pela Comunidade Européia 0413. E a reprodutibilidade do tempo de exposição foi feita com um medidor da marca M.R.A. Indústria Brasileira, modelo CQ 03, série 03-110.

A medida da camada semi-redutora (CSR) foi realizada pelo método de interposição de filtros de alumínio para atenuação do feixe de raios X. Por CSR entende-se “a espessura de um material especificado, que interposta ao feixe de raios X, reduz a taxa de *kerma* no ar à metade, considerando excluída a contribuição de qualquer radiação espalhada não presente inicialmente no feixe considerado” (BRASIL, 1998).

A taxa de *kerma* no ar foi medida aproximando-se a extremidade do cilindro do aparelho de raios X a uma câmara de ionização da marca Radcal Corporation e devidamente calibrada.

#### 4.1.8. Soluções de processamento

Os filmes foram processados manualmente pelo método temperatura-tempo, segundo as especificações de CASATI ALVARES & TAVANO (1987), com soluções de processamento da marca KODAK-GBX, em um conjunto de tanque para processamento com capacidade de 20 litros cada, da marca Eletro-Médica Brasileira (EMB). O tempo de processamento foi monitorado com um cronômetro digital da marca CASIO, modelo HS-20.

#### 4.1.9. Colgaduras

As colgaduras usadas para o processamento dos filmes foram as colgaduras coletivas.

#### 4.1.10. Termômetro

Para determinação da temperatura das soluções antes do processamento foi utilizado um termômetro de imersão da marca Incoterm, cuja escala se estendia de -10°C até 60°C.

#### 4.1.11. Densitômetro

As leituras da densidade óptica de cada degrau da escala e da lâmina de chumbo na radiografia foram feitas utilizando-se um fotodensitômetro digital da M.R.A., com feixe de luz colimado em 2mm de diâmetro.

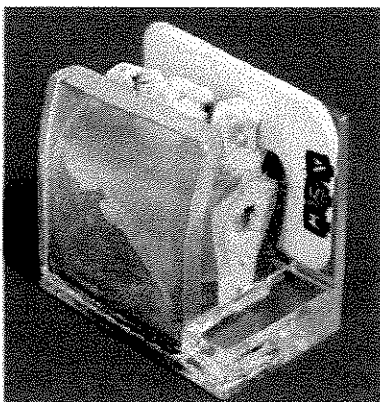


FIGURA 4 - Filme radiográfico, com identificadores metálicos, posicionado no fantoma.

#### 4.1.12. Espectrometria do feixe de radiação

A medição do espectro do feixe de raios X foi feita com um detector de telureto de cádmio e zinco, com um sistema especial de colimação, adaptado por BECKER em 1997 (FIG. 5).

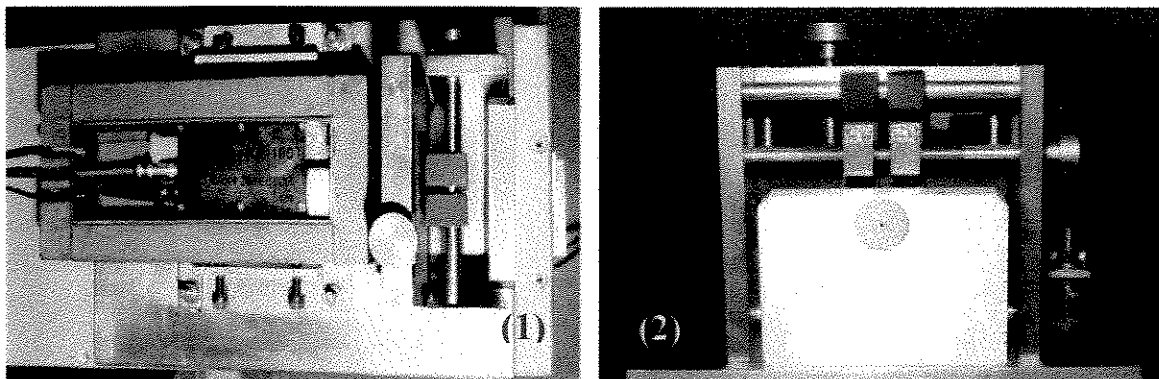


FIGURA 5 – Vista superior (1) e frontal (2) do detector de telureto de cádmio e zinco.

#### 4.2. MÉTODOS

Em um estudo piloto foi determinado o tempo de exposição ideal para a obtenção da imagem da escala de densidade na radiografia. Isto estabelecido, foram feitas

as radiografias da escala de densidade utilizando a filtração de alumínio, preconizada para as quilovoltagens estudadas, e a filtração de AlCu.

O tempo de exposição adequado foi aquele em que o degrau de espessura de 10mm da escala apresentou densidade óptica de aproximadamente 1.0 mais ou menos 0.10. Considerando que o valor de 1.0 está dentro do limite de densidade para tecidos dentários, então o degrau com 10mm serviu como densidade referência para a exposição (MAURIELLO *et al.*, 1987). A miliamperagem utilizada foi sempre de 10mA. Os tempos de exposição são mostrados de acordo com as TAB. 9 a 14, a seguir:

TABELA 9

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), segundo o tipo de filme, Ultraspeed e Ektaspeed Plus, para filtração equivalente a 1,83mm de alumínio, de acordo com 60kVp.

| Filme          | Tempos de exposição |     |     |      |
|----------------|---------------------|-----|-----|------|
|                | C                   | N   | I   | M    |
| Ultraspeed     | 1,5                 | 0,8 | 1,0 | 1,25 |
| Ektaspeed Plus | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8  |

TABELA 10

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), segundo o tipo de filme, Ultraspeed e Ektaspeed Plus, para filtração equivalente a 1,83mm de alumínio, de acordo com 70kVp.

| Filme          | Tempos de exposição |      |     |     |
|----------------|---------------------|------|-----|-----|
|                | C                   | N    | I   | M   |
| Ultraspeed     | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| Ektaspeed Plus | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |

TABELA 11

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), para filmes Ultraspeed, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm) com 60kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Tempos de exposição |     |     |     |
|----------------------|----------------|---------------------|-----|-----|-----|
|                      |                | C                   | N   | I   | M   |
| 2                    | 0,52           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 2                    | 0,98           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 2                    | 0,99           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 2                    | 1,14           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 2                    | 1,29           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 3                    | 0,34           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 3                    | 0,40           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 3                    | 0,54           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 3                    | 0,79           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 3                    | 0,97           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 4                    | 0,25           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 4                    | 0,60           | 1,25                | 0,6 | 0,8 | 1   |
| 4                    | 0,99           | 1,5                 | 0,8 | 1   | -   |

TABELA 12

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), para filmes Ultraspeed, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm) com 70kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Tempos de exposição |      |     |     |
|----------------------|----------------|---------------------|------|-----|-----|
|                      |                | C                   | N    | I   | M   |
| 2                    | 0,52           | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| 2                    | 0,98           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 0,99           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 1,14           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 1,29           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,34           | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| 3                    | 0,40           | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| 3                    | 0,54           | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| 3                    | 0,79           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,97           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 4                    | 0,25           | 0,6                 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| 4                    | 0,60           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |
| 4                    | 0,99           | 0,8                 | 0,4  | 0,5 | 0,6 |

TABELA 13

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), para filmes Ektaspeed Plus, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm) com 60kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Tempos de exposição |     |     |     |
|----------------------|----------------|---------------------|-----|-----|-----|
|                      |                | C                   | N   | I   | M   |
| 2                    | 0,52           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 0,98           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 2                    | 0,99           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 1,14           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 2                    | 1,29           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 3                    | 0,34           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,40           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,54           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,79           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 0,97           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 3                    | 1,37           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| 4                    | 0,25           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 4                    | 0,60           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 4                    | 0,99           | 0,8                 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 4                    | 1,59           | 1                   | 0,5 | 0,6 | 0,8 |



TABELA 14

Distribuição dos tempos de exposição (C = correto, e as variações N, I e M), para filmes Ektaspeed Plus, segundo a porcentagem e a espessura da liga de alumínio-cobre (mm) com 70kVp.

| Porcentagem de cobre | Espessura (mm) | Tempos de exposição |      |      |      |
|----------------------|----------------|---------------------|------|------|------|
|                      |                | C                   | N    | I    | M    |
| 2                    | 0,52           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 2                    | 0,98           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 2                    | 0,99           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 2                    | 1,14           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 2                    | 1,29           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 2                    | 2,12           | 0,6                 | 0,35 | 0,4  | 0,5  |
| 2                    | 2,28           | 0,6                 | 0,35 | 0,4  | 0,5  |
| 3                    | 0,34           | 0,4                 | 0,25 | 0,3  | 0,35 |
| 3                    | 0,40           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 0,54           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 0,79           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 0,97           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 1,13           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 1,37           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 3                    | 1,76           | 0,6                 | 0,35 | 0,4  | 0,5  |
| 3                    | 2,10           | 0,6                 | 0,35 | 0,4  | 0,5  |
| 4                    | 0,25           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 4                    | 0,60           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 4                    | 0,99           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 4                    | 1,24           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 4                    | 1,59           | 0,5                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  |
| 4                    | 2,33           | 0,6                 | 0,35 | 0,4  | 0,5  |

Os filmes eram expostos com a escala de densidade colocada no centro, com a lâmina de chumbo colocada na parte inferior do filme, e as letras e os números que identificariam as radiografias posteriormente eram colocadas na borda superior do filme.

Previamente às leituras da densidade óptica nas radiografias, foram traçadas duas linhas nas extremidades de cada degrau da escala de densidade com lapiseira de grafite 0,5mm, a fim de facilitar a leitura dos degraus e evitar que estes fossem

confundidos. As leituras da densidade óptica de cada degrau da escala de densidade e da lâmina de chumbo foram sempre realizadas no centro de cada degrau, e os valores anotados na TAB. 29, constante do ANEXO 1.

De posse dos valores encontrados em cada degrau da escala de densidade, foi calculado o contraste relativo ou índice de contraste, segundo a fórmula:

$$C = \frac{D_2 - D_7}{\frac{1}{2}(D_2 + D_7)}$$

em que, de acordo com PRICE (1986),  $D_2$  é a área mais densa e  $D_7$  a área menos densa.

O fantoma foi radiografado de acordo com os tempos de exposição pré-estabelecidos, dados pela escala de densidade, para cada tipo de filtro, incluindo o de alumínio, usando os dois tipos de filmes e as quilovoltagens de 60kVp e 70kVp e miliamperagem de 10mA. Os filmes foram identificados e devidamente processados. As radiografias do fantoma permitiram comparação e análise subjetiva da imagem conforme padronização estabelecida. Algumas radiografias feitas com o fantoma são mostradas nas FIG. 5 e 6.

Todos os filmes foram processados manualmente pelo método temperatura-tempo.

Para a avaliação subjetiva da imagem, as radiografias foram montadas em cartelas, tendo sido solicitado a dez examinadores, especialistas em Radiologia Odontológica, sem calibração prévia, que avaliassem as imagens de regiões pré-estabelecidas: junção cimento-esmalte na distal do dente 36, ápice do dente 38 e espaço pericementário do dente 36, de acordo com o questionário a eles fornecido, elaborado com

base no trabalho de KAPA & TYNDALL (1989), e que se encontra no ANEXO 2. Este questionário continha instruções quanto ao seu preenchimento. Para a avaliação dessas radiografias, foi utilizada uma máscara sobre o negatoscópio e o ambiente foi mantido com pouca iluminação. Foi realizado um repasse com os examinadores, quando avaliaram as radiografias uma segunda vez para conferência da coerência interna.

A espectrometria do feixe de raios X, utilizando o filtro de alumínio e os filtros da liga de alumínio-cobre, foi realizada a fim de que se pudesse compará-la por meio da elaboração de gráficos.

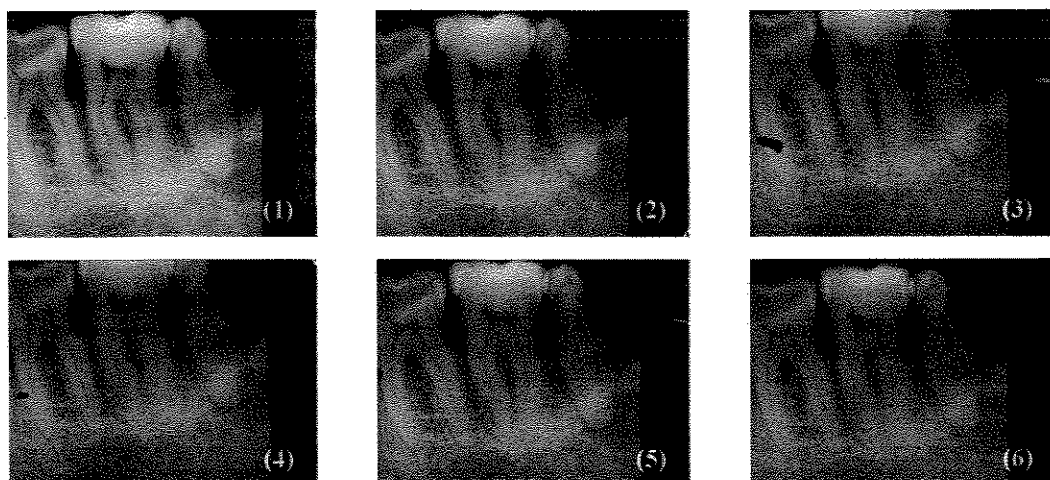


FIGURA 5 – Radiografias obtidas com o fantoma utilizando: (1) Filtro de alumínio, filme Ultraspeed, 60kVp e 1 segundo (ASWI); (2) Filtro de alumínio, filme Ultraspeed, 60kVp e 1,25 segundos (ASWM); (3) Filtro de alumínio, filme Ultraspeed, 70kVp e 0,8 segundo (ATW); (4) Filtro de alumínio, filme Ektaspeed Plus, 60kVp e 1 segundo (BSW); (5) Filtro de alumínio, filme Ektaspeed Plus, 60kVp e 0,8 segundo (BSWM) e (6) Filtro de alumínio, filme Ektaspeed Plus, 70kVp e 0,5 segundo (BTWM).

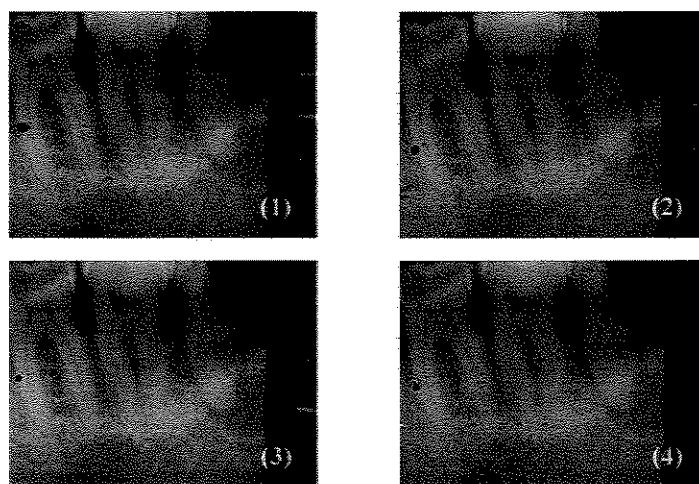


FIGURA 6 – Radiografias obtidas com o fantoma utilizando: (1) Filtro de liga de alumínio-cobre a 3% com 0,4mm de espessura, filme Ektaspeed Plus, 60kVp e 0,8 segundo (BSKY5); (2) Filtro de liga de alumínio-cobre a 3% com 0,4mm de espessura, filme Ektaspeed Plus, 70kVp e 0,3 segundo (BTKY5); (3) Filtro de liga de alumínio-cobre a 3% com 0,97mm de espessura, filme Ektaspeed Plus, 60kVp e 0,8 segundo (BSKY1); (4) Filtro de liga de alumínio-cobre a 3% com 0,97mm de espessura, filme Ektaspeed Plus, 70kVp e 0,5 segundo (BTKY1).

## **5. RESULTADOS**

## 5. RESULTADOS

A fim de facilitar a apresentação dos resultados neste capítulo, dividimo-lo conforme segue:

### 5.1. Avaliação do espectro de energia dos raios X

Os resultados obtidos da leitura do espectro de energia dos raios X utilizando o filtro padrão de alumínio e os filtros de liga de alumínio-cobre, em diferentes espessuras e com 60kVp e 70kVp, estão apresentados em sequência crescente de porcentagem e espessura da liga estudada. Para cada leitura do espectro de energia realizada, foram construídos gráficos, com o objetivo de avaliar o comportamento desses espectros.

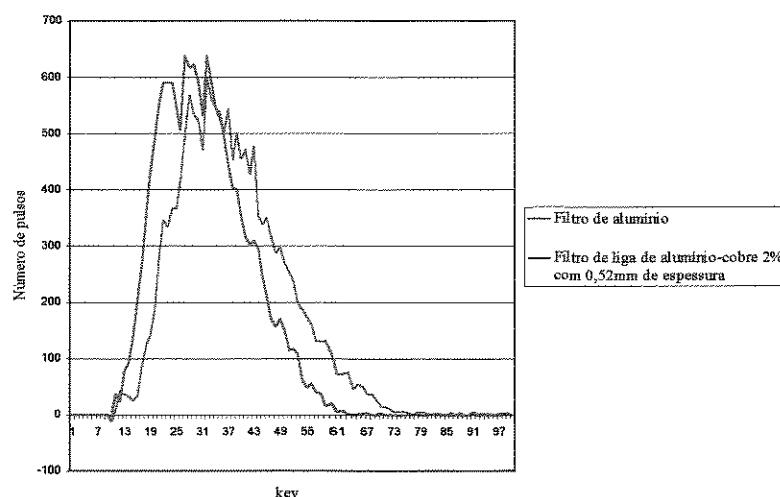


GRÁFICO 1 - Espectro de energia, em quíloeletronvolt, dos raios X de 60kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (0,52mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

De acordo com o GRAF. 1, o filtro da liga de alumínio-cobre 2% com 0,52mm de espessura não mostra endurecimento do feixe e mostra filtração similar à do filtro de 1,83mm de alumínio.

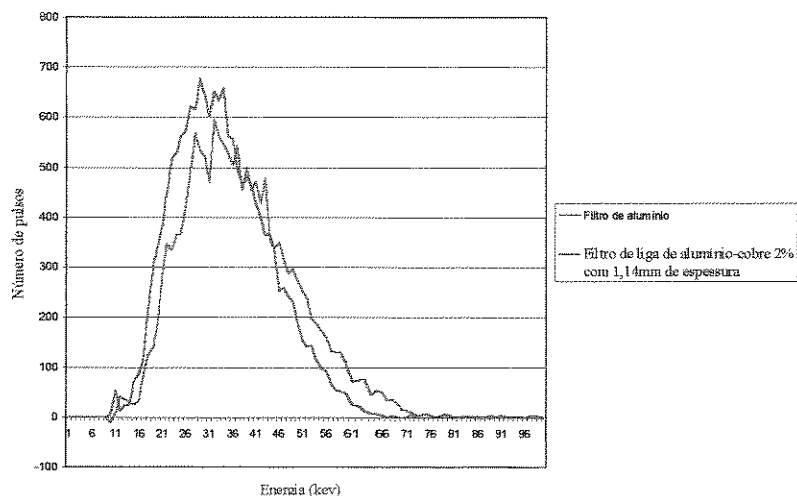


GRÁFICO 2 - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 60kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (1,14mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

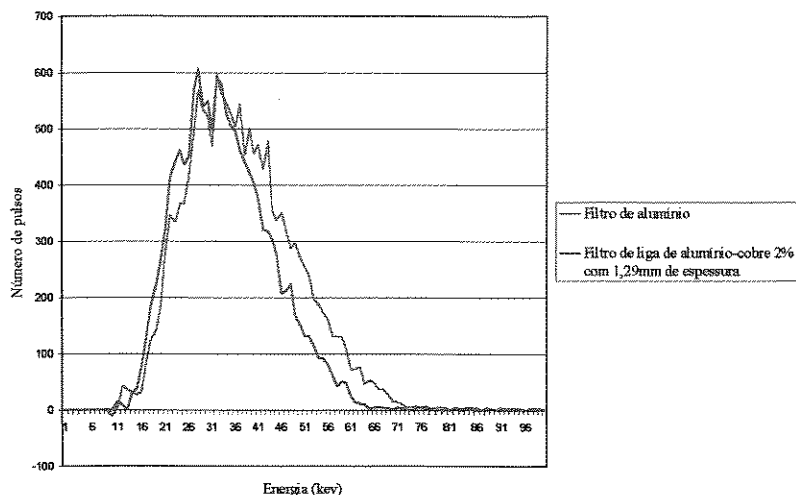
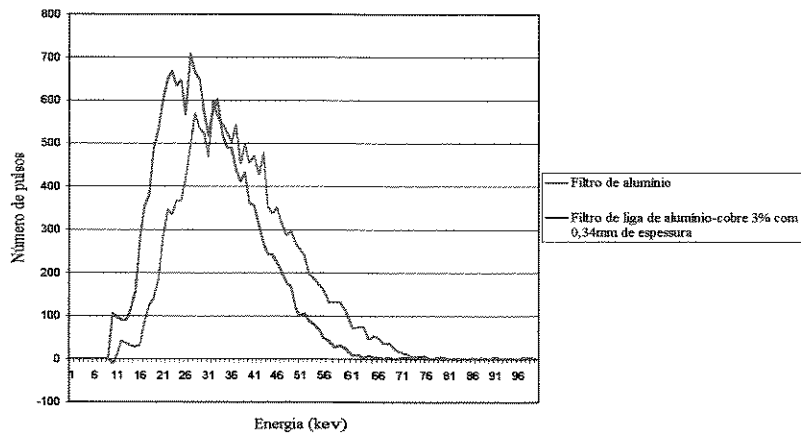


GRÁFICO 3 -

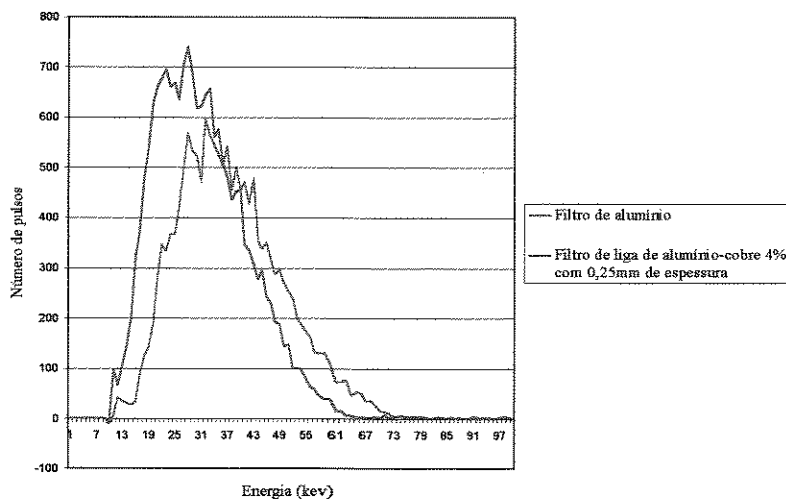
Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 60kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (1,29mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Segundo os GRAF. 2 e 3, o filtro padrão de alumínio e os filtros de liga de alumínio-cobre 2% com 1,14mm e 1,29mm mostram comportamento semelhante em relação ao espectro de energia, porém o filtro de liga AlCu 2% com 1,14mm mostra menor poder de filtração em relação ao filtro padrão de alumínio.





**GRÁFICO 4 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 60kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,34mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



**GRÁFICO 5 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 60kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (0,25mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os GRAF. 4 e 5, comparando os filtros padrão e os de ligas AlCu 3% com 0,34mm e 4% com 0,25mm, mostram que os filtros de liga de AlCu indicaram menor endurecimento e filtração do feixe de raios X.

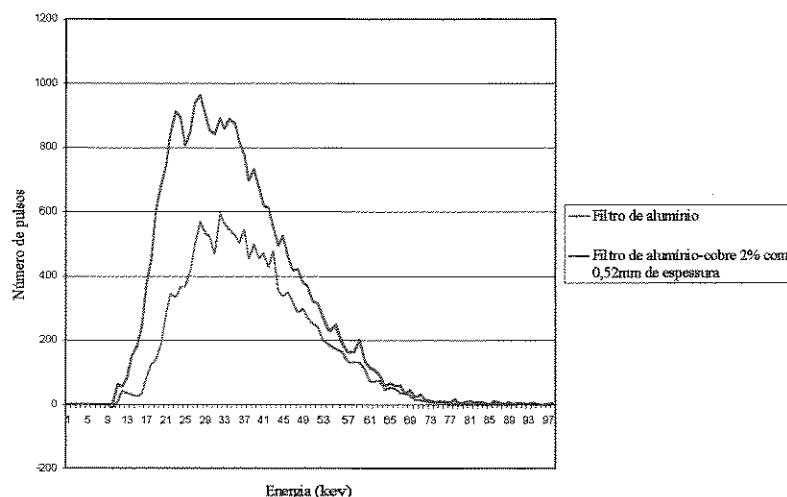
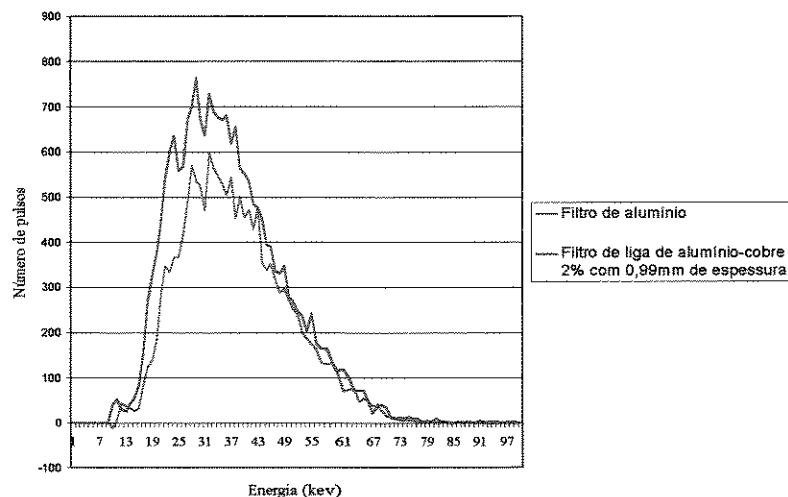
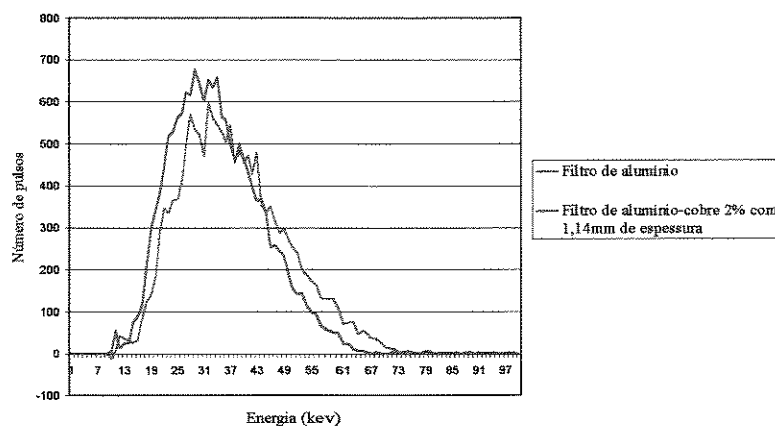


GRÁFICO 6 - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (0,52mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

De acordo com o GRAF. 6, observa-se que o filtro de liga AlCu 2% com 0,52mm tem menor capacidade de endurecimento e menor filtração do feixe de raios X em relação ao filtro padrão de alumínio.

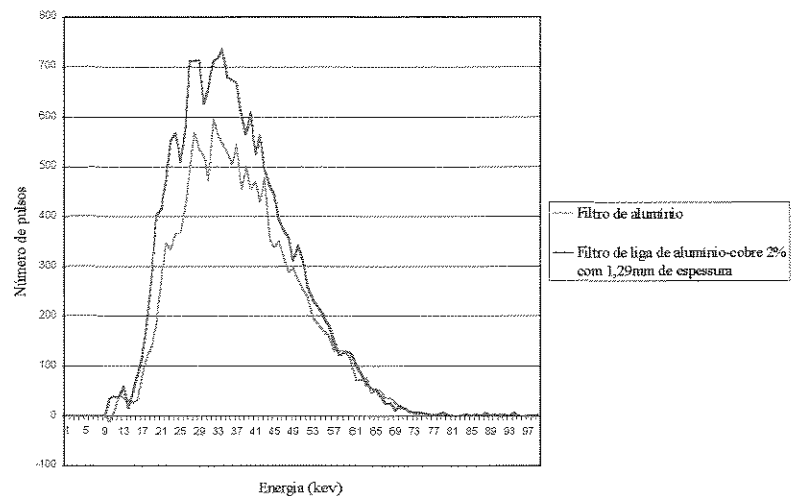


**GRÁFICO 7 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (0,99mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



**GRÁFICO 8 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (1,14mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os filtros de liga alumínio-cobre 2% com 0,99mm e com 1,14mm manifestam comportamento discretamente inferior em relação ao padrão de alumínio quanto à filtração e comportamento semelhante quanto ao endurecimento do feixe de raios X no limite de energia média (GRAF. 7 e 8).



**GRÁFICO 9 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (1,29mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

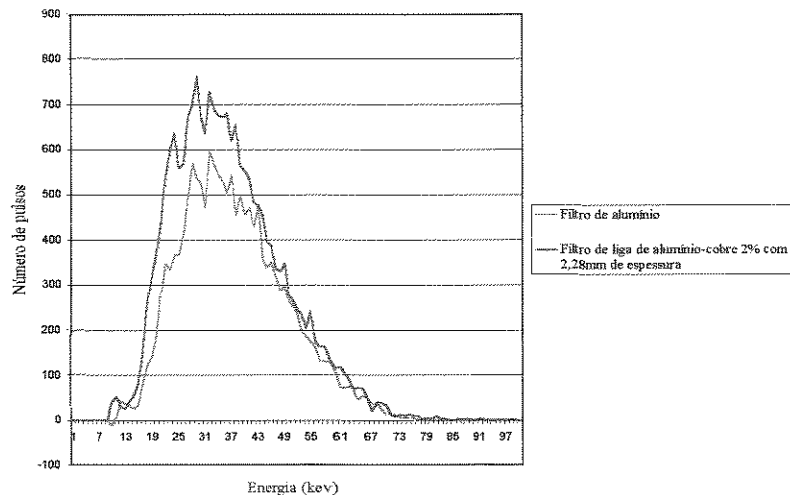


GRÁFICO 10 - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 2% (2,28mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

De acordo com os GRAF. 9 e 10 acima, os filtros de liga alumínio-cobre 2% com 1,29mm e com 2,28mm mostram menor poder de filtração e endurecimento semelhante ao do filtro padrão de alumínio.

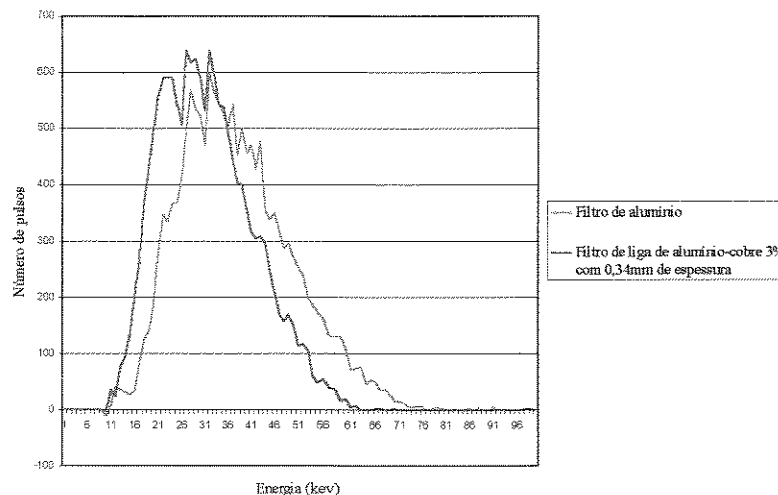
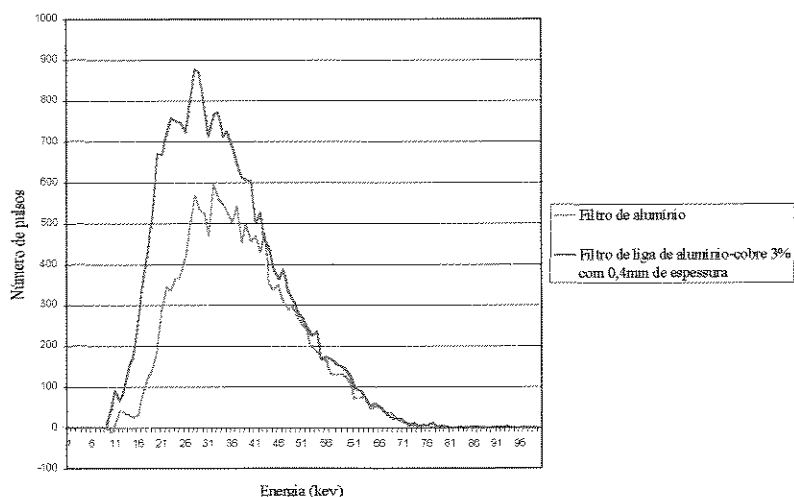
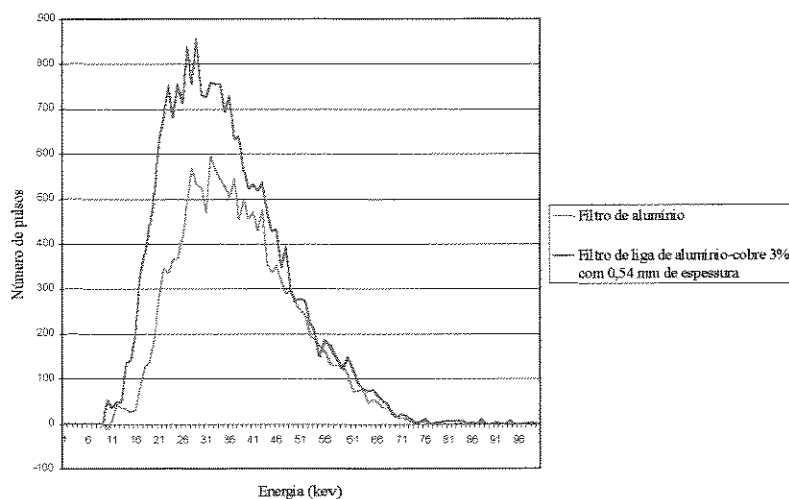


GRÁFICO 11 - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,34mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

O GRAF. 11 mostra que o filtro de liga 3% com 0,34mm manifestou padrão de filtração similar ao do filtro de 1,83mm de alumínio e menor endurecimento do feixe de raios X.

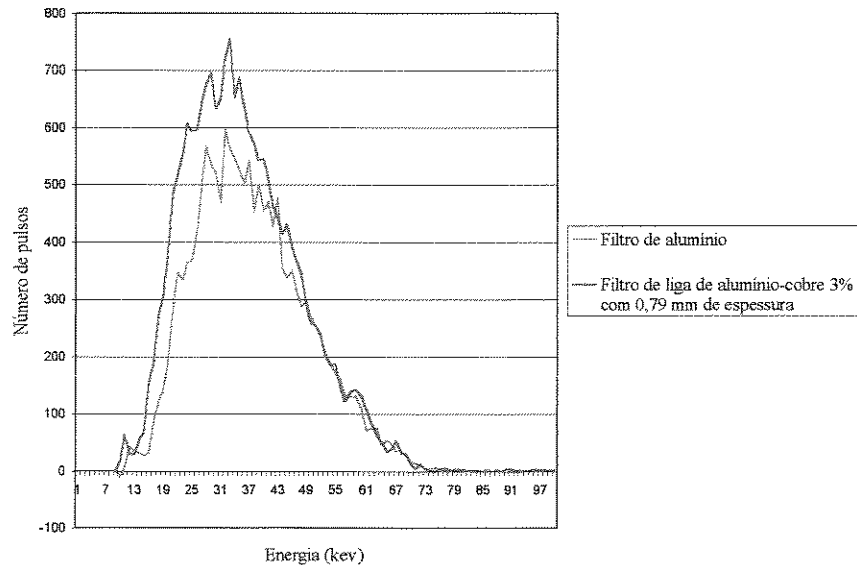


**GRÁFICO 12** - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,4mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



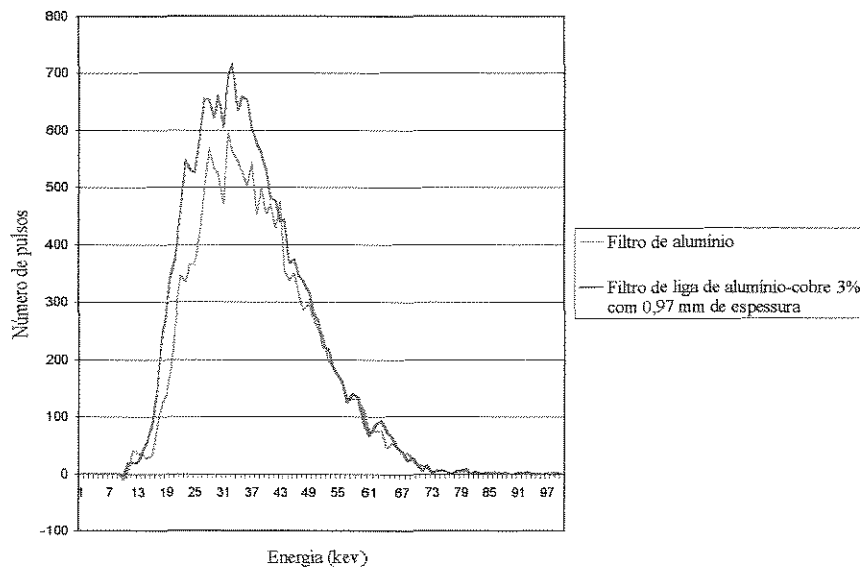
**GRÁFICO 13** - Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,54mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Pelos GRAF. 12 e 13 observa-se que as ligas alumínio-cobre 3% com 0,4mm e com 0,54mm apresentaram-se com menor filtração e menor endurecimento do feixe em relação ao filtro de 1,83mm de alumínio.



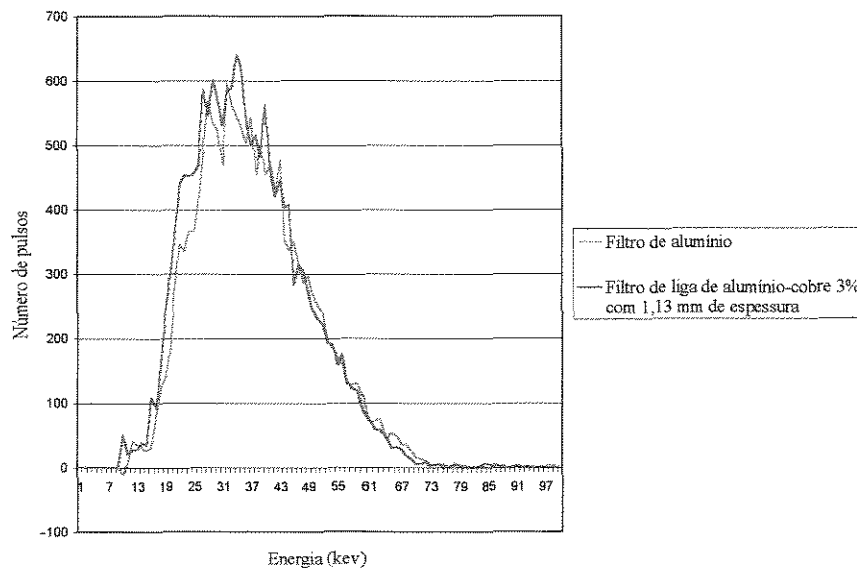
**GRÁFICO 14 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,79mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



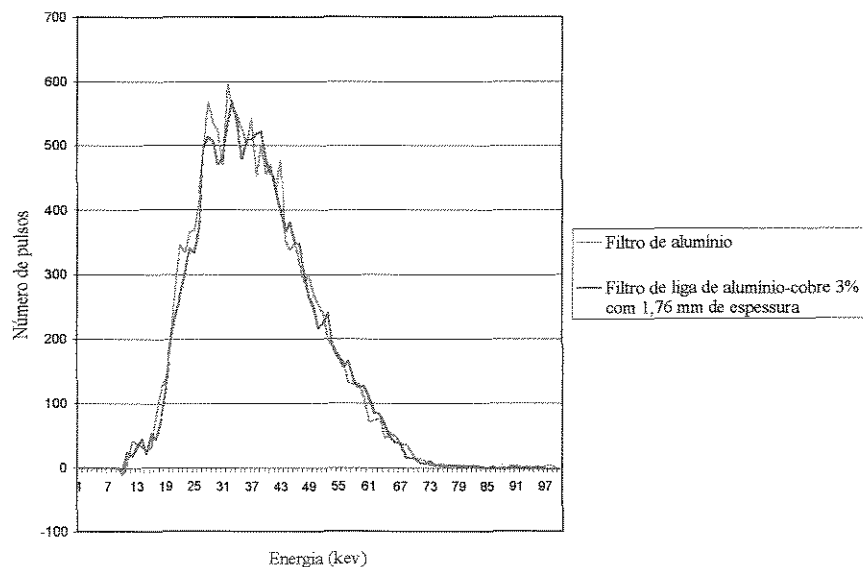


**GRÁFICO 15 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (0,97mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os filtros de liga 3% com 0,79mm e 0,97mm exibiram comportamento semelhante de endurecimento do feixe e menor poder de filtração em relação ao filtro de alumínio (GRAF. 14 e 15).

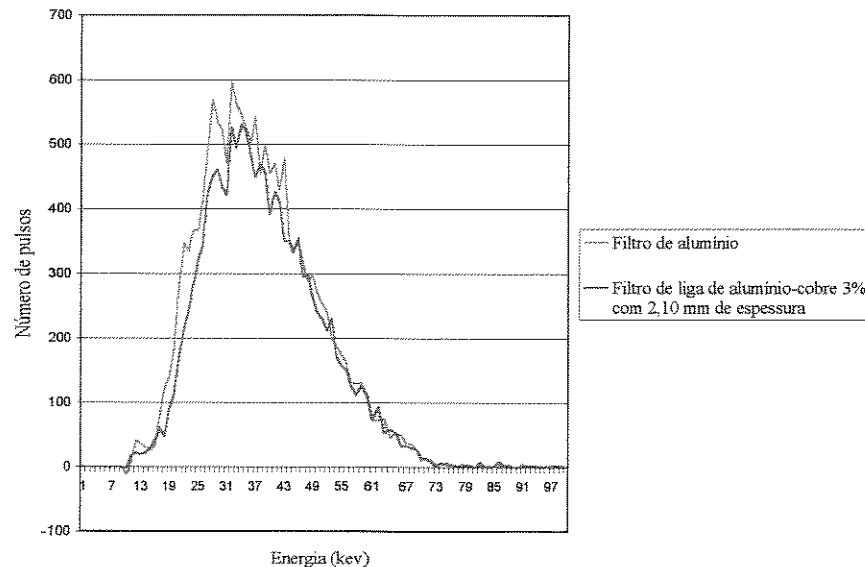


**GRÁFICO 16 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (1,13mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



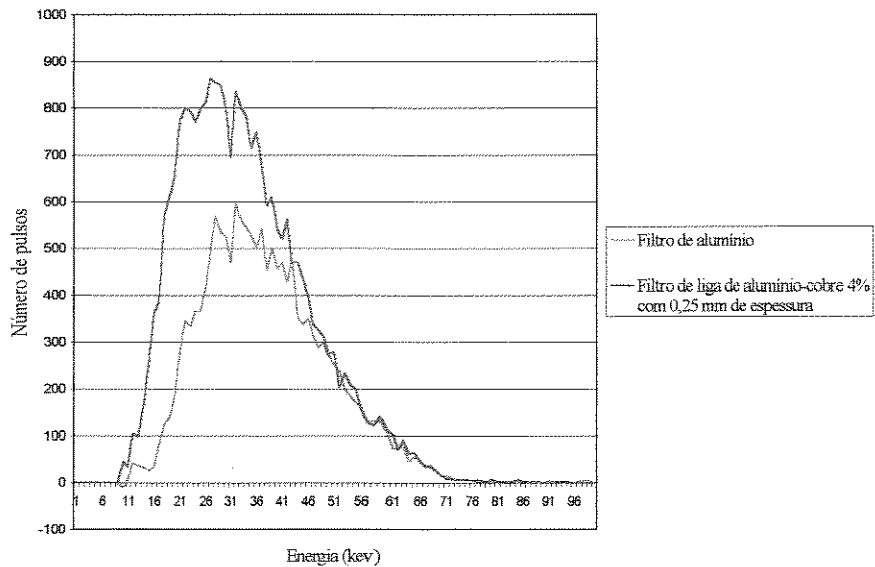
**GRÁFICO 17 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 3% (1,76mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os filtros de ligas de AlCu a 3% com 1,13mm e com 1,76mm indicam, como se pode verificar em seus respectivos GRAF. 16 e 17, filtração e endurecimento do feixe de raios X similares aos do filtro padrão de alumínio.

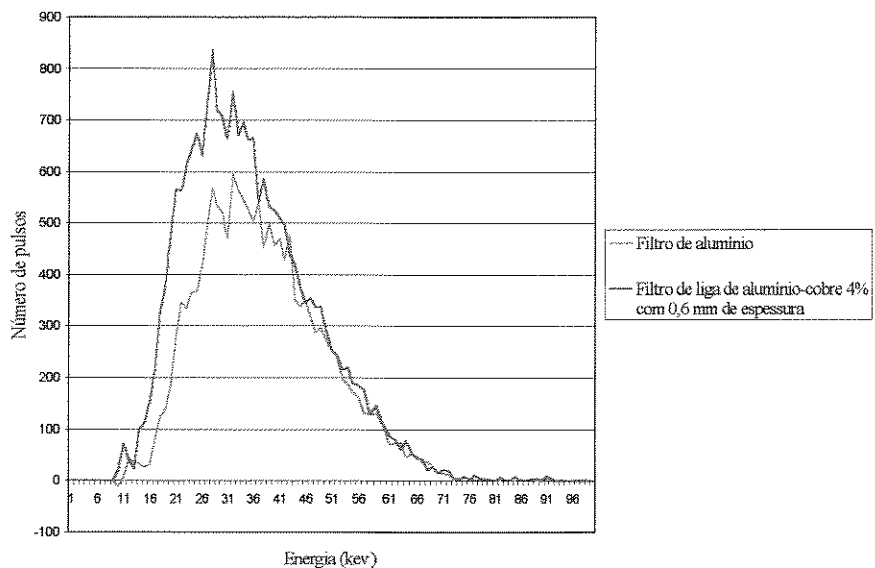


**GRÁFICO 18 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre3% (2,10mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Segundo o GRAF. 18, nota-se que o filtro de liga de AlCu 3% com 2,10mm exibe discreta filtração e endurecimento similar ao do filtro de 1,83mm de alumínio.

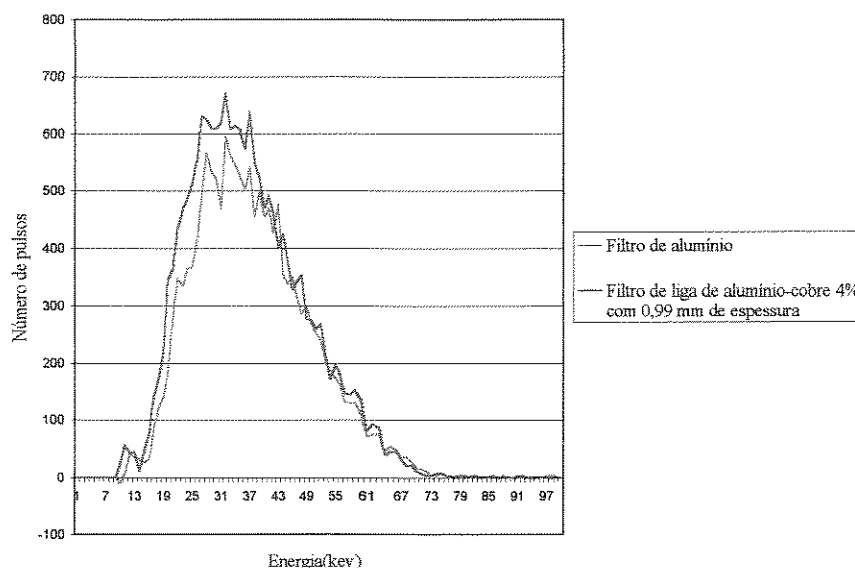


**GRÁFICO 19 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (0,25mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



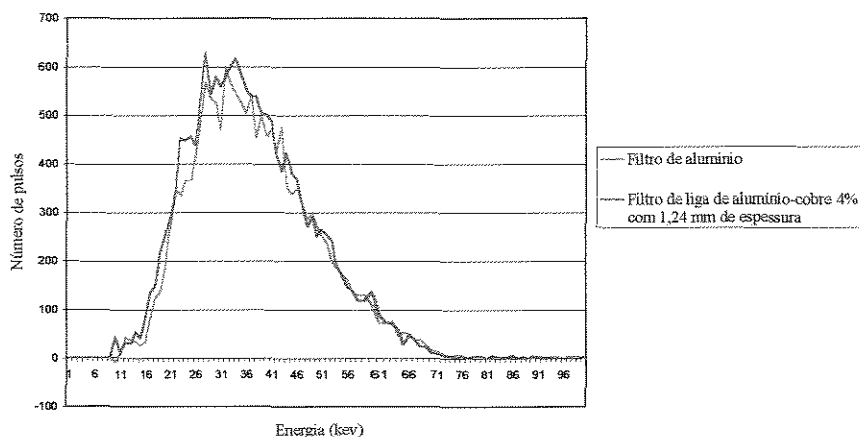
**GRÁFICO 20 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (0,6mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os GRAF. 19 e 20 mostram que os filtros de liga de AlCu 4% com 0,25mm e 0,6mm têm menor poder de filtração e endurecimento discretamente inferior em relação ao filtro padrão de alumínio.

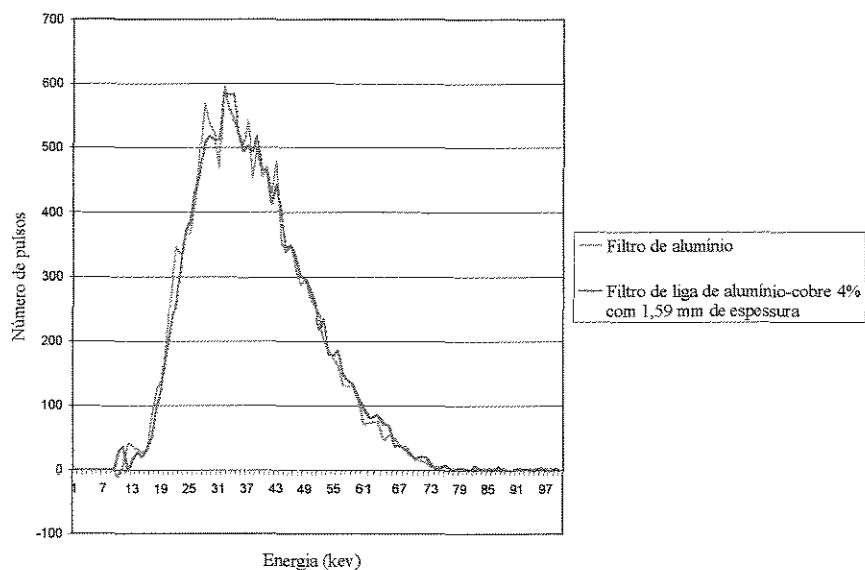


**GRÁFICO 21 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (0,99mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

O filtro de liga 4% com 0,99mm exibiu comportamento semelhante ao do filtro de alumínio, porém com menor poder de filtração (GRAF. 21).

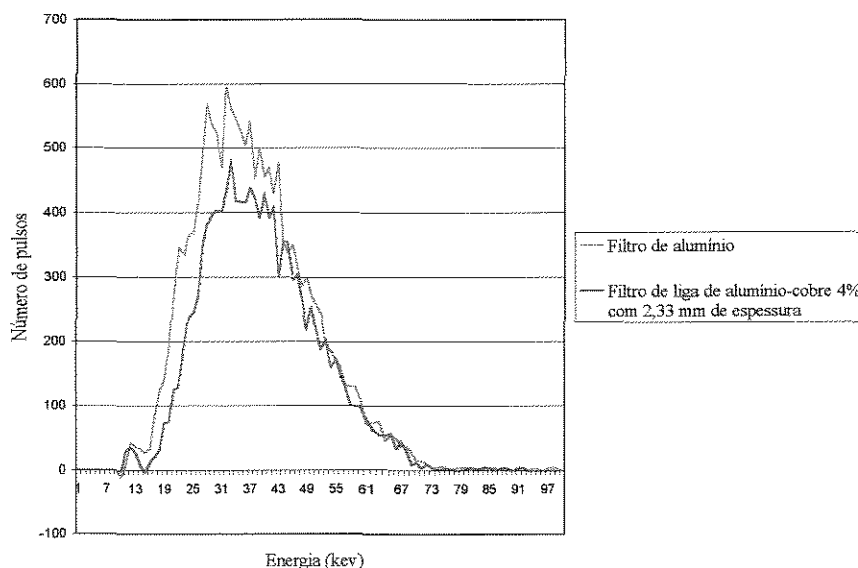


**GRÁFICO 22 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (1,24mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.



**GRÁFICO 23 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (1,59mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

Os GRAF. 22 e 23 mostram que os filtros de liga de AlCu 4% com 1,24mm e com 1,59mm apresentam comportamento de filtração e endurecimento similar ao do filtro de alumínio.



**GRÁFICO 24 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com os filtros de alumínio (1,83mm de espessura) e alumínio-cobre 4% (2,33mm de espessura), segundo a contagem do número de fótons.

O GRAF. 24 mostra que o filtro de liga AlCu 4% com 2,33mm tem maior poder de filtração e similar poder de endurecimento do feixe de raios X em relação ao de alumínio com 1,83mm.

## 5.2. Taxa de *kerma* no ar

Os valores obtidos da leitura da taxa média de *kerma* no ar em mGy são apresentados nas TAB. 15, 16, 17 e 18, de acordo com a quilovoltagem e o tempo de exposição utilizado.

TABELA 15

Distribuição da taxa média de *kerma* no ar (em mGy) e de seu respectivo percentual de redução ou aumento em relação ao filtro padrão de alumínio, segundo o tipo de filtro e o tempo de exposição utilizando 60kVp e filme Ultraspeed.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Tempo de Exposição (s) | <i>Kerma</i> (mGy) | Porcentagem de aumento | Porcentagem de redução |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Al - 1,83                       | 1,50                   | 6,75               | —                      | —                      |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,25                   | 10,49              | 55,41                  | —                      |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,25                   | 7,61               | 12,74                  | —                      |
| AlCu 2% - 1,14                  | 1,25                   | 7,02               | 4,00                   | —                      |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,25                   | 6,63               | —                      | 1,78                   |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,00                   | 9,00               | 33,33                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,00                   | 10,97              | 62,52                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,54                  | 1,25                   | 7,97               | 18,07                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,79                  | 1,25                   | 7,87               | 16,59                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,97                  | 1,25                   | 7,40               | 9,63                   | —                      |
| AlCu 4% - 0,25                  | 1,00                   | 9,78               | 44,89                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,60                  | 1,25                   | 8,84               | 30,96                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,99                  | 1,50                   | 8,27               | 22,52                  | —                      |

TABELA 16

Distribuição da taxa média de *kerma* no ar (em mGy) e de seu respectivo percentual de redução ou aumento em relação ao filtro padrão de alumínio, segundo o tipo de filtro e o tempo de exposição utilizando 60kVp e filme Ektaspeed Plus.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Tempo de Exposição (s) | <i>Kerma</i> (mGy) | Porcentagem de aumento | Porcentagem de redução |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Al - 1,83                       | 1,0                    | 4,44               | —                      | —                      |
| AlCu 2% - 0,52                  | 0,8                    | 6,65               | 49,77                  | —                      |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,0                    | 4,83               | 8,78                   | —                      |
| AlCu 2% - 1,14                  | 0,8                    | 4,45               | 0,23                   | —                      |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,0                    | 5,26               | 18,47                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,34                  | 0,8                    | 7,20               | 62,16                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,40                  | 0,8                    | 6,95               | 56,53                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,54                  | 0,8                    | 6,37               | 43,47                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,79                  | 0,8                    | 4,99               | 12,39                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,97                  | 0,8                    | 4,70               | 5,86                   | —                      |
| AlCu 3% - 1,37                  | 1,0                    | 5,00               | 12,61                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,25                  | 0,8                    | 7,82               | 76,13                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,60                  | 0,8                    | 5,61               | 26,35                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,99                  | 0,8                    | 3,88               | —                      | 12,61                  |
| AlCu 4% - 1,59                  | 1,0                    | 3,86               | —                      | 13,06                  |



TABELA 17

Distribuição da taxa média de *kerma* no ar (em mGy) e de seu respectivo percentual de aumento em relação ao filtro padrão de alumínio, segundo o tipo de filtro e o tempo de exposição utilizando 70kVp e filme Ultraspeed.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Tempo de Exposição (s) | <i>Kerma</i> (mGy) | Porcentagem de aumento |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| Al - 1,83                       | 0,8                    | 5,13               | —                      |
| AlCu 2% - 0,52                  | 0,6                    | 7,36               | 43,47                  |
| AlCu 2% - 0,98                  | 0,8                    | 6,98               | 36,06                  |
| AlCu 2% - 1,14                  | 0,8                    | 6,44               | 25,54                  |
| AlCu 2% - 1,29                  | 0,8                    | 6,08               | 18,52                  |
| AlCu 3% - 0,34                  | 0,6                    | 7,97               | 55,36                  |
| AlCu 3% - 0,40                  | 0,6                    | 7,70               | 50,10                  |
| AlCu 3% - 0,54                  | 0,6                    | 7,05               | 37,43                  |
| AlCu 3% - 0,79                  | 0,8                    | 7,22               | 40,74                  |
| AlCu 3% - 0,97                  | 0,8                    | 6,79               | 32,36                  |
| AlCu 4% - 0,25                  | 0,6                    | 8,66               | 68,81                  |
| AlCu 4% - 0,60                  | 0,8                    | 8,11               | 58,09                  |
| AlCu 4% - 0,99                  | 0,8                    | 6,29               | 22,61                  |

TABELA 18

Distribuição da taxa média de *kerma* no ar (em mGy) e de seu respectivo percentual de redução ou aumento em relação ao filtro padrão de alumínio, segundo o tipo de filtro e o tempo de exposição utilizando 70kVp e filme Ektaspeed Plus.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Tempo de Exposição (s) | <i>Kerma</i> (mGy) | Porcentagem de aumento | Porcentagem de redução |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Al - 1,83                       | 0,6                    | 3,93               | —                      | —                      |
| AlCu 2% - 0,52                  | 0,5                    | 5,91               | 50,38                  | —                      |
| AlCu 2% - 0,98                  | 0,5                    | 4,30               | 9,41                   | —                      |
| AlCu 2% - 1,14                  | 0,5                    | 3,96               | 0,76                   | —                      |
| AlCu 2% - 1,29                  | 0,5                    | 3,74               | —                      | <b>4,83</b>            |
| AlCu 2% - 2,12                  | 0,6                    | 3,36               | —                      | <b>14,50</b>           |
| AlCu 2% - 2,28                  | 0,6                    | 3,08               | —                      | <b>21,63</b>           |
| AlCu 3% - 0,34                  | 0,4                    | 5,13               | 30,53                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,40                  | 0,5                    | 6,19               | 57,51                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,54                  | 0,5                    | 5,67               | 44,27                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,79                  | 0,5                    | 4,44               | 12,98                  | —                      |
| AlCu 3% - 0,97                  | 0,5                    | 4,18               | 6,36                   | —                      |
| AlCu 3% - 1,13                  | 0,5                    | 3,76               | —                      | <b>4,33</b>            |
| AlCu 3% - 1,37                  | 0,5                    | 3,56               | —                      | <b>9,41</b>            |
| AlCu 3% - 1,76                  | 0,6                    | 3,60               | —                      | <b>8,40</b>            |
| AlCu 3% - 2,10                  | 0,6                    | 3,01               | —                      | <b>23,41</b>           |
| AlCu 4% - 0,25                  | 0,5                    | 6,96               | 77,10                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,60                  | 0,5                    | 4,99               | 26,97                  | —                      |
| AlCu 4% - 0,99                  | 0,5                    | 3,87               | —                      | 1,53                   |
| AlCu 4% - 1,24                  | 0,5                    | 3,48               | —                      | <b>11,45</b>           |
| AlCu 4% - 1,59                  | 0,5                    | 2,75               | —                      | <b>30,03</b>           |
| AlCu 4% - 2,33                  | 0,6                    | 2,07               | —                      | <b>47,33</b>           |

De acordo com as TAB. 16 e 18, pode-se observar uma redução da taxa média de *kerma* no ar quando o filme Ektaspeed Plus foi utilizado, principalmente com a utilização de 70kVp. Essa redução de taxa média de *kerma* em relação ao filtro de alumínio ocorreu para os filtros de liga de AlCu 2% com 1,29mm, 2,12mm e 2,28mm, AlCu 3% com 1,13mm, 1,37mm, 1,76mm e 2,10mm e AlCu 4% com 1,24mm, 1,59mm e 2,33mm. Com a

aplicação de 60kVp e uso do filme Ektaspeed Plus, a redução da taxa média de *kerma* no ar somente foi observada para o filtro de liga AlCu 4% com 0,99mm e com 1,59mm.

As camadas semi-redutoras (CSR) dos filtros de liga de alumínio-cobre e do filtro de alumínio estão apresentadas na TAB. 19.

TABELA 19

Distribuição da camada semi-redutora (CSR) em milímetros equivalente de alumínio segundo os filtros de liga de alumínio-cobre e o filtro padrão de alumínio e suas respectivas espessuras.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | CSR | Tipo de filtro e espessura (mm) | CSR |
|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| Al - 1,83                       | 2,5 | AlCu 3% - 0,97                  | 1,9 |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,6 | AlCu 3% - 1,13                  | 2,1 |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,9 | AlCu 3% - 1,37                  | 2,3 |
| AlCu 2% - 1,14                  | 2,0 | AlCu 3% - 1,76                  | 2,6 |
| AlCu 2% - 1,29                  | 2,1 | AlCu 3% - 2,10                  | 2,8 |
| AlCu 2% - 2,12                  | 2,7 | AlCu 4% - 0,25                  | 1,4 |
| AlCu 2% - 2,28                  | 2,8 | AlCu 4% - 0,60                  | 1,7 |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,5 | AlCu 4% - 0,99                  | 2,1 |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,6 | AlCu 4% - 1,24                  | 2,2 |
| AlCu 3% - 0,54                  | 1,6 | AlCu 4% - 1,59                  | 2,7 |
| AlCu 3% - 0,79                  | 1,9 | AlCu 4% - 2,33                  | 3,1 |

Os dados da TAB. 19 associados aos das TAB. 16 e 18 permitem comentar que, quando a CSR atingiu 2,1mm equivalentes de alumínio, houve redução da taxa média de *kerma* no ar.

Os índices de contraste foram calculados como mostrado no capítulo Material e Métodos e são mostrados a seguir (TAB. 20, 21, 22 e 23).

TABELA 20

Distribuição do índice de contraste dos filtros de liga de alumínio-cobre e do filtro padrão de alumínio para os filmes Ultraspeed a 60kVp.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste | Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Al - 1,83                       | 1,13                | AlCu 3% - 0,54                  | 1,18                |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,17                | AlCu 3% - 0,79                  | 1,14                |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,15                | AlCu 3% - 0,97                  | 1,13                |
| AlCu 2% - 1,14                  | 1,13                | AlCu 4% - 0,25                  | 1,18                |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,10                | AlCu 4% - 0,60                  | 1,17                |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,14                | AlCu 4% - 0,99                  | 1,12                |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,17                |                                 |                     |

TABELA 21

Distribuição do índice de contraste dos filtros de liga de alumínio-cobre e do filtro padrão de alumínio para os filmes Ultraspeed a 70kVp.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste | Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Al - 1,83                       | 1,02                | AlCu 3% - 0,54                  | 1,04                |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,05                | AlCu 3% - 0,79                  | 1,01                |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,02                | AlCu 3% - 0,97                  | 1,02                |
| AlCu 2% - 1,14                  | 1,01                | AlCu 4% - 0,25                  | 1,06                |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,02                | AlCu 4% - 0,60                  | 1,07                |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,06                | AlCu 4% - 0,99                  | 1,02                |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,09                |                                 |                     |

TABELA 22

Distribuição do índice de contraste dos filtros de liga de alumínio-cobre e do filtro padrão de alumínio para os filmes Ektaspeed Plus a 60kVp.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste | Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Al - 1,83                       | 1,11                | AlCu 3% - 0,79                  | 1,14                |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,14                | AlCu 3% - 0,97                  | 1,12                |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,15                | AlCu 3% - 1,37                  | 1,12                |
| AlCu 2% - 1,14                  | 1,11                | AlCu 4% - 0,25                  | 1,16                |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,14                | AlCu 4% - 0,60                  | 1,14                |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,17                | AlCu 4% - 0,99                  | 1,12                |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,16                | AlCu 4% - 1,59                  | 1,09                |
| AlCu 3% - 0,54                  | 1,15                |                                 |                     |

TABELA 23

Distribuição do índice de contraste dos filtros de liga de alumínio-cobre e do filtro padrão de alumínio para os filmes Ektaspeed Plus a 70kVp.

| Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste | Tipo de filtro e espessura (mm) | Índice de contraste |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Al - 1,83                       | 1,02                | AlCu 3% - 0,97                  | 1,02                |
| AlCu 2% - 0,52                  | 1,07                | AlCu 3% - 1,13                  | 1,02                |
| AlCu 2% - 0,98                  | 1,04                | AlCu 3% - 1,37                  | 1,01                |
| AlCu 2% - 1,14                  | 0,88                | AlCu 3% - 1,76                  | 1,03                |
| AlCu 2% - 1,29                  | 1,01                | AlCu 3% - 2,10                  | 0,99                |
| AlCu 2% - 2,12                  | 0,97                | AlCu 4% - 0,25                  | 1,09                |
| AlCu 2% - 2,28                  | 0,98                | AlCu 4% - 0,60                  | 1,06                |
| AlCu 3% - 0,34                  | 1,08                | AlCu 4% - 0,99                  | 1,04                |
| AlCu 3% - 0,40                  | 1,07                | AlCu 4% - 1,24                  | 1,01                |
| AlCu 3% - 0,54                  | 1,08                | AlCu 4% - 1,59                  | 1,00                |
| AlCu 3% - 0,79                  | 1,06                | AlCu 4% - 2,33                  | 0,97                |

Os dados para cada uma das TAB. 20 a 23 permitem dizer que o índice de contraste manteve-se constante nas imagens radiográficas obtidas.

### 5.3. Avaliação da imagem radiográfica - examinadores

De acordo com o questionário utilizado para avaliar a qualidade da imagem radiográfica (ANEXO 2), foi solicitado aos examinadores que escolhessem, dentre as radiografias realizadas com o fantoma e utilizando o filtro padrão de alumínio, aquela que, na opinião deles, era considerada a melhor, como mostra a TAB. 24. A maioria dos examinadores escolheu as radiografias codificadas como BSW e BSWM. Isso quer dizer que foram escolhidas as radiografias feitas com filme Ektaspeed Plus, a 60kVp, e com o filtro de 1,83mm de alumínio como padrão para futuras comparações com aquelas feitas com o filtro de liga de alumínio-cobre.

TABELA 24

Distribuição dos códigos das radiografias realizadas com o filtro padrão de alumínio, segundo a preferência dos examinadores.

| Examinadores | Códigos das radiografias | Examinadores | Código das radiografias |
|--------------|--------------------------|--------------|-------------------------|
| 1            | BSW                      | 6            | ASWI                    |
| 2            | BSW                      | 7            | ASWM                    |
| 3            | BSWM                     | 8            | BSW                     |
| 4            | ATW                      | 9            | BTWM                    |
| 5            | BSW                      | 10           | BSWM                    |

A fim de facilitar a descrição dos resultados nesta etapa, esta seção foi dividida de acordo com as preferências dos examinadores para as seguintes estruturas observadas: junção cimento-esmalte na distal do dente 36, ápice do dente 38 e espaço pericementário do dente 36, como mostram as TAB. 25 a 27.

TABELA 25

Distribuição da porcentagem das preferências dos examinadores para as radiografias realizadas com filtro de liga de alumínio-cobre, segundo a qualificação atribuída à junção cimento-esmalte do dente 36.

| Qualificação | Examinadores |     |      |      |     |      |     |      |      |     |
|--------------|--------------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|
|              | 1            | 2   | 3    | 4    | 5   | 6    | 7   | 8    | 9    | 10  |
| Melhores     | 0            | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 7,9  | 96,8 | 0   |
| Iguais       | 100          | 100 | 98,4 | 84,1 | 100 | 61,9 | 100 | 90,5 | 3,2  | 100 |
| Piores       | 0            | 0   | 1,6  | 15,9 | 0   | 38,1 | 0   | 1,6  | 0    | 0   |

De acordo com a TAB. 25, pode-se afirmar que as radiografias observadas para a junção cimento-esmalte do dente 36, feitas com o filtro de liga de AlCu, na maioria das vezes tiveram suas imagens radiográficas consideradas iguais àquelas feitas com o filtro padrão de alumínio, com exceção do examinador 9, que considerou a maior parte das

imagens obtidas com o filtro de liga de AlCu melhores que as obtidas com o filtro de alumínio.

TABELA 26

Distribuição da porcentagem das preferências dos examinadores para as radiografias realizadas com filtro de liga de alumínio-cobre, segundo a qualificação atribuída ao ápice do dente 38.

| Qualificação | Examinadores |      |      |      |      |      |     |      |      |     |
|--------------|--------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|
|              | 1            | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7   | 8    | 9    | 10  |
| Melhores     | 0            | 0    | 96,8 | 36,5 | 28,6 | 8,0  | 0   | 8,0  | 0    | 0   |
| Iguais       | 100          | 96,8 | 3,2  | 63,5 | 71,4 | 50,8 | 100 | 85,7 | 98,4 | 100 |
| Piores       | 0            | 3,2  | 0    | 0    | 0    | 41,2 | 0   | 6,3  | 1,6  | 0   |

De acordo com a TAB. 26, pode-se afirmar que as radiografias observadas para o ápice do dente 38, feitas com o filtro de liga de AlCu, tiveram suas imagens radiográficas consideradas iguais às aquelas feitas com o filtro padrão de alumínio, com exceção do examinador 3, que considerou a maior parte das imagens obtidas com o filtro de liga de AlCu melhores que as obtidas com o filtro de alumínio, e do examinador 6, que considerou 41,2% das imagens radiográficas feitas com o filtro de liga AlCu piores que aquelas feitas com o filtro de alumínio.

TABELA 27

Distribuição da porcentagem das preferências dos examinadores para as radiografias realizadas com filtro de liga de alumínio-cobre, segundo a qualificação atribuída ao espaço pericementário do dente 36.

| Qualificação | Examinadores |      |     |      |      |      |     |      |      |      |
|--------------|--------------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|
|              | 1            | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7   | 8    | 9    | 10   |
| Melhores     | 25,4         | 0    | 0   | 36,5 | 39,7 | 0    | 0   | 8,0  | 0    | 0    |
| Iguais       | 69,8         | 98,4 | 100 | 60,3 | 60,3 | 50,8 | 100 | 92,0 | 98,4 | 92,0 |
| Piores       | 4,8          | 1,6  | 0   | 3,2  | 0    | 49,2 | 0   | 0    | 1,6  | 8,0  |

De acordo com a TAB. 27, pode-se afirmar que as radiografias observadas para o espaço pericementário do dente 36, feitas com o filtro de liga de AlCu, na maioria das vezes tiveram suas imagens radiográficas consideradas iguais às aquelas feitas com o filtro padrão de alumínio, com exceção do examinador 6, que considerou 49,2% das imagens radiográficas feitas com o filtro de liga AlCu piores que aquelas feitas com o filtro de alumínio.



TABELA 28

Distribuição das escolhas feitas por cada examinador para os códigos das radiografias realizadas com filtro padrão de alumínio (W) e com filtro de liga de alumínio-cobre (L) para a junção cimento-esmalte do dente 36 (JCE), ápice do dente 38 e espaço pericementário do dente 36, segundo a sensibilidade do filme (F) e a quilovoltagem (Q) aplicada.

| Examinador | Código da radiografia padrão | JCE              |                  |                  | Ápice |   |   | Espaço |     |                  |
|------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------|---|---|--------|-----|------------------|
|            |                              | F                | Q                | L                | F     | Q | L | F      | Q   | L                |
| 1          | BSW                          | B <sup>(2)</sup> | T <sup>(4)</sup> | Y <sup>(6)</sup> | B     | T | Y | B      | S=T | Z <sup>(7)</sup> |
| 2          | BSW                          | B                | T                | Y                | B     | S | Y | B      | T   | Y                |
| 3          | BSWM                         | B                | T                | Y                | B     | T | Y | B      | T   | Y                |
| 4          | A <sup>(1)</sup> TW          | B                | T                | Y                | B     | T | Y | B      | T   | Y                |
| 5          | BSW                          | B                | S <sup>(3)</sup> | Y                | B     | S | Y | B      | S   | Y                |
| 6          | ASWI                         | B                | T                | X <sup>(5)</sup> | B     | S | Y | B      | S   | X                |
| 7          | ASWM                         | B                | S                | Y                | B     | S | Y | B      | S   | Y                |
| 8          | BSW                          | B                | T                | Y                | B     | T | Y | B      | T   | Y                |
| 9          | BTWM                         | B                | T                | Y                | B     | T | Y | B      | T   | Y                |
| 10         | BSWM                         | B                | T                | Y                | B     | T | Y | B      | T   | Y                |

- (1) A = filme Ultraspeed
- (2) B = filme Ektaspeed Plus
- (3) S = 60kVp
- (4) T = 70kVp
- (5) X = filtro de liga de AlCu 2%
- (6) Y = filtro de liga de AlCu 3%
- (7) Z = filtro de liga de AlCu 4%

Os resultados gerais mostram que a liga de AlCu 3%, o filme Ektaspeed Plus e a voltagem de 70kVp faziam parte da maioria das preferências dos examinadores quando consideraram as imagens radiográficas melhores ou iguais àquelas obtidas com o filtro padrão de alumínio.

## **6. DISCUSSÃO**

## 6. DISCUSSÃO

Neste capítulo serão feitos comentários a respeito dos achados na revisão da literatura e, quando possível, será estabelecido um parâmetro para a diversificação de resultados apresentados pelos autores pesquisados e os encontrados no nosso trabalho, isso devido à interpretação limitada conseqüente das diferentes metodologias empregadas, que incluem uma variedade de materiais utilizados como filtro, com diferentes espessuras, diferentes aparelhos de raios X e diferentes quilovoltagens empregadas, além de, algumas vezes, o filtro estudado ter sido utilizado adicionado ao filtro convencional de alumínio e, outras vezes, como alternativo ao filtro de alumínio.

### 6.1. Espectro de energia dos raios X

Os espectros de energia do feixe de raios X com filtros de liga de alumínio-cobre 2% com 0,52mm, 1,14mm e 1,29mm com 60kVp, 3% com 0,34mm com 60 e 70kVp e 4% com 0,25mm com 60kVp removeram alguns fótons de energia mais alta, provavelmente provocando a necessidade de aumentar o tempo de exposição para compensar a perda desses fótons que formariam a imagem radiográfica, comentário esse feito por RICHARDS (1964). Porém, o aumento no tempo de exposição, não foi observado em nosso trabalho. Por outro lado, não houve remoção dos fótons de energia mais baixa quando comparado o espectro do feixe de raios X do filtro de liga de alumínio-cobre com o do filtro de alumínio. O fato de remover fótons de energia mais baixa também foi citado por CHO *et al.* (1978) e por NAGEL (1988), mas podemos afirmar que essa remoção, em relação à filtração com alumínio, em nosso trabalho somente ocorreu para os filtros de liga de alumínio-cobre a 3% com 2,10mm e 4% com 2,33mm de espessura, com 70kVp, sem

sobrecarga do tubo de raios X, considerando que o tempo de exposição por nós utilizado foi o mesmo para os filtros por nós estudados.

Nossos resultados diferem dos encontrados por DUCKWORTH *et al.* (1981) quando os autores comentam sobre modificações do espectro no limite entre 25keV e 45keV. Observamos apenas que esse limite compreende a energia média vista nos nossos espectros de energia dos raios X e que, dependendo do tipo de liga utilizada, o *kerma* no ar foi menor em relação à filtração com alumínio.

De acordo com o GRAF.42 do ANEXO 3, podemos dizer que os comentários feitos por STEPHENS *et al.* (1985) são verdadeiros considerando ser possível observar claramente no gráfico que os fótons de baixa energia foram removidos do feixe de raios X.

Nossos resultados a respeito da perda do contraste da imagem radiográfica não condizem com o encontrado por TYNDALL (1986). Além do mais, o autor sugere mudanças na quilovoltagem com o uso de filtros de terras-raras para compensar imagens densitometricamente equivalentes e com a redução da exposição em relação àquelas obtidas com filtro de alumínio.

O limite de sensibilidade do espectro, entre 30keV e 41keV, obtido por nós apresentou-se aquém daquele citado por MacDONALD-JANKOWSKI & LAWINSKI (1991), que ficou entre 32keV e 47keV, por RICHARDS *et al.* (1970), entre 30keV e 50keV para o samário, e o citado por TETRADIS *et al.* (1995), que ficou entre 43,3keV e 48keV para o nióbio. Estes últimos autores comentaram que houve somente um endurecimento do feixe e não alterações do espectro afetadas pela filtração com nióbio. Estes autores também observaram redução da dose de entrada na pele, substancialmente

mais baixa que a obtida somente com o filtro de alumínio, o que ocorreu em nossos resultados para os filtros de liga de AlCu 2% (1,29mm, 2,12mm e 2,28mm), AlCu 3% (1,13mm, 1,37mm, 1,76mm e 2,10mm) e AlCu 4% (0,99mm, 1,24mm, 1,59mm e 2,33mm).

MacDONALD-JANKOWSKI & LAWINSKI (1992), respondendo aos comentários feitos por WILKS (1992) a respeito do espectro de raios X com filtros “k-edge” usando baixas energias, citaram a importância da forma do espectro de raios X que, em nosso trabalho, apresentava inclinação similar para o filtro de liga de alumínio-cobre e para o filtro de alumínio. Porém, na maioria das vezes, o gráfico estava deslocado um pouco em direção do eixo Y em relação à do filtro padrão, o que representa um menor poder de endurecimento do feixe de radiação.

## 6.2. Taxa de *kerma* no ar

Nossos valores encontrados para camada semi-redutora mostram que, quando ela atingia mais que 2,1mm de alumínio, houve uma redução na taxa de *kerma* no ar, à semelhança com os comentários feitos por WAINWRIGHT (1963), FARMAN *et al.* (1989) a respeito de filtração aumentada e da conseqüente dose reduzida ao paciente, ressaltando que essa redução pode ser acompanhada por uma perda da qualidade da imagem, o que não foi observado em nossos resultados, considerando que o índice de contraste se manteve praticamente o mesmo para todos os filtros testados.

Dependendo da espessura e do tipo de liga utilizada, a porcentagem na média de redução da taxa de *kerma* no ar por nós encontrada ficou em torno de 15%, sendo seu limite de 4,33% a 47,33%. Segundo RICHARDS *et al.* (1970), que estudaram o filtro de samário com 0,2mm de espessura, e GELSKEY & BAKER (1981), estudando o mesmo

filtro, porém com espessura de 0,16mm, essa redução foi de aproximadamente 33% e 40%, respectivamente, em relação ao filtro de alumínio, resultado semelhante ao encontrado por nós. Entretanto, o tempo de exposição utilizado por esses autores foi cerca de duas vezes maior e por FARMAN *et al.* (1989) 50% maior que o necessário para sensibilizar um filme com o filtro de alumínio, tendo o tempo de exposição, em nosso trabalho, sido sempre igual ou menor àquele necessário para sensibilizar um filme com o filtro padrão.

Em nosso trabalho, quando 60kVp foi utilizada, a redução da taxa de *kerma* no ar só foi encontrada para as seguintes ligas de filtro de alumínio-cobre: AlCu 4% com 0,99mm (12,61%) e AlCu 4% com 1,59mm (13,06%), cujos valores não atingiram a metade da redução encontrada por HORNER *et al.* (1988), que foi de 24% quando 0,1mm de érbio foi adicionado à filtração de alumínio. Quando 70kVp foi utilizado, alcançaram 39%, tendo nossos resultados variado de 4,33% a 47,33% de redução, com uma vantagem em relação aos resultados desses autores, pois nossos tempos de exposição não se alteraram, mas sim se mantiveram próximos ao tempo de exposição quando o filtro de alumínio foi utilizado e, em alguns casos, esse tempo foi ainda menor, enquanto os tempos de exposição usado por esses autores ultrapassaram 150% (60kVp) e 260% (70kVp), como citado por eles. O filtro de liga de alumínio-cobre por nós testado a 70kVp e em espessuras maiores que 2mm mostrou-se eficaz em reduzir a exposição à radiação, sem comprometer a carga do tubo de raios X.

Uma redução de 25% a 30% na exposição de entrada da radiação na pele foi observada por KOHN *et al.* (1988) quando utilizaram filtro de 0,1mm de cobre adicionado

a 2mm de alumínio para radiografias feitas com um fantoma de crânio, maior do que a redução na média por nós encontrada (15%).

FARMAN *et al.* (1989) relataram 60,2% de redução na exposição à radiação a 70kVp quando adicionaram 0,1mm de ítrio à filtração de alumínio, redução bem mais marcante que a encontrada por nós.

Com relação à redução na exposição à radiação para o uso do filtro Niobi-X, cerca de 40% foi encontrada segundo PETTIGREW & COLLETT (1989), 36% segundo STIRLING & HOLLOWAY (1990), até 30% segundo WHITE & GRATT (1991), 14,8% segundo BYRNE *et al.* (1991) e 12% segundo McDONNELL & PRICE (1991), um pouco maior do que o valor na média encontrado em nossa pesquisa para os três primeiros autores e discretamente menores para os dois últimos autores citados. PETTIGREW & COLLETT (1989) observaram uma diminuição da densidade sem comprometimento do valor interpretativo das radiografias e STIRLING & HOLLOWAY (1990) comentaram que a qualidade da imagem radiográfica pode ser mantida, mas em nenhum momento foi aumentada com o uso do filtro Niobi-X, o que foi coincidente com os nossos resultados, pois não houve comprometimento das imagens radiográficas com o filtro por nós testado e o contraste se manteve constante, sem mostrar redução. Esse mesmo filtro adicional Niobi-X foi comparado com um filtro adicional de cobre por CORDT & ENGELKE (1990), resultando em redução da dose com o filtro adicional de 0,1mm de cobre (73%) em relação ao anterior (52%), mostrando maior redução na exposição em relação aos valores por nós encontrados. Lembramos, contudo, que não utilizamos filtração adicional.

Como KIRCOS *et al.* (1989), também observamos que a redução do *kerma* estava relacionada diretamente com a CSR. Entretanto, quando a CSR atingiu valores maiores que 2mm equivalentes de alumínio em nosso trabalho, verificamos que a energia média do feixe de raios X não aumentava com a filtração de liga de AlCu.

Segundo KAPA *et al.* (1990), a redução da exposição na pele com filme D foi de 25% a 29% para a filtração com Lanex Regular e de 50% a 52% com filtro érbio, quando comparados com filtração convencional de alumínio, e, para o filme E, com os filtros acima citados, a redução foi de 11% a 28% e 31% a 54%, respectivamente. Nossos resultados não mostraram tanta redução do *kerma* no ar pois seu limite foi de 4,33% a 47,33%, observando-se que, na maioria das vezes, a qualidade da imagem não foi degradada. Não nos foi possível estabelecer uma relação entre contraste e camada semi-redutora como a realizada pelos autores acima mencionados. Ainda os mesmos autores citaram que o filme D foi mais escolhido que o filme E quanto à qualidade de sua imagem, mas a substituição sem comunicação prévia do filme D pelo E na clínica não provocou comentários desfavoráveis, o que tem semelhança com nossos achados; uma vez que as imagens radiográficas obtidas com filtro de liga de AlCu e filme Ektaspeed Plus foram consideradas de boa qualidade.

Uma redução da dose em 49% foi encontrada por PARDINI (1995) para o filtro de zinco (0,15mm) e aumento de 150% para o filtro de estanho (0,02mm) quando o filme Ektaspeed foi utilizado. Uma redução da taxa de *kerma* no ar em 47,33% foi encontrada por nós para a liga de AlCu 4% com 2,33mm de espessura e o maior aumento encontrado em nossos estudos em relação a taxa de *kerma* no ar foi de 77% para o filtro de liga de AlCu



4% com 0,25mm, cerca de 50% menos do encontrado pelo autor acima citado quando de sua maior dose. WATANABE (1999) encontrou redução da dose de 28,5% e de 14% para os filtros de cobre com 0,13mm e com 0,08mm, respectivamente, quando comparados ao filtro de alumínio (2mm) concernemente para os filmes do grupo E e D, sem comprometimento da qualidade da imagem. Nossos resultados superaram essa redução, somente quando utilizamos filmes Ektaspeed Plus, não verificamos redução da taxa média de *kerma* no ar quando da utilização dos tempos de exposição para filmes Ultraspeed. A qualidade da imagem radiográfica também não se alterou em nosso trabalho.

#### 6.2.1. Contraste

TETRADIS *et al.* (1995) observaram redução do contraste quando a espessura do filtro aumentava devido à energia média do feixe ter aumentado, o que não observado em nosso trabalho, considerando que o contraste se manteve constante, mesmo com o aumento da quilovoltagem e da CSR.

O limite de energia encontrado em nosso trabalho é concordante com aquele mencionado por HUEN *et al.* (1976), que apresentou-se entre 35keV e 45keV, e a liga utilizada por nós como material para filtro não pertence à família de terras-raras, como proposto por esses autores, além de nos ter fornecido imagens radiográficas sem alteração do contraste. A avaliação do contraste também foi feita por OISHI & PARFITT (1976), quando acharam uma relação direta entre contraste e quilovoltagem e uma relação inversa entre filtração e contraste, isto é, quando a quilovoltagem diminuía, o contraste também diminuía e quando a filtração aumentava, o contraste diminuía. Esses resultados são

contrários aos encontrados por nós, considerando que o contraste se manteve constante durante nosso experimento nas quilovoltagens de 60kVp e 70kVp.

Concordamos com STANFORD (1977) quando recomenda a seleção do feixe de raios X para satisfazer às exigências do contraste da imagem com a menor exposição possível aos raios X e com MAURIELLO *et al.* (1987) quando comentam que filtros mais espessos levam a menor dose de radiação, porém com diminuição do contraste, o que não foi verificado por nós, pois a imagem radiográfica fornecida pela nossa escala de densidade permaneceu constante, contrariando os achados de PONCE *et al.* (1986, 1988), que tiveram preferências por radiografias de alto contraste escolhidas pelos examinadores.

Quando a redução da taxa de *kerma* no ar para o filtro de liga de AlCu foi por nós observada, o contraste não diminuiu e nem a carga do tubo aumentou em relação ao uso do filtro padrão de alumínio, contrariando os dados apresentados por JANGLAND & AXELSSON (1990) quando estudaram os filtros de cobre e de nióbio.

Com referência ao índice de contraste, discordamos dos resultados encontrados por McDONNELL & PRICE (1992) para contraste e camada semi-redutora (CSR), visto que esses autores observaram que, quando a CSR aumentava, o contraste diminuía, e o nosso resultado para índice de contraste se manteve constante quando a CSR aumentava.

### 6.3. Qualidade da imagem radiográfica - examinadores

Numa avaliação subjetiva da qualidade da imagem radiográfica obtida com 70kVp e 90kVp e diferentes espessuras de filtro de alumínio, PRICE (1986) comentou que as radiografias mais escolhidas não foram aquelas com altas quilovoltagens e feixes mais

filtrados, o que também foi observado em nosso trabalho, considerando que, quando utilizamos 60kVp com filtro de alumínio e 70kVp com filtro de liga de AlCu, houve por parte dos examinadores preferência por estas mesmas imagens.

As imagens radiográficas de qualidade comparáveis e provenientes de radiografias produzidas com menor dose fazem a concordância dos nossos achados com os de MAURIELLO *et al.* (1989), quando compararam radiografias interproximais obtidas com filtros de alumínio e de alumínio adicionado ao samário.

TAMBURÚS (1991), utilizando colimação retangular associada ao filme do grupo D com filtração de alumínio, obteve as melhores imagens radiográficas, e a mesma colimação associada ao filme do grupo E com filtração de alumínio mais 0,1mm de cobre obteve a menor dose, daí o autor recomendar esta última combinação mesmo quando houvesse uma pequena perda de contraste, desde que aceitável. Em nosso trabalho, quando houve uma redução da taxa de *kerma* no ar, não foi observada a perda do contraste da imagem radiográfica, além dessas imagens obtidas com o filtro de liga de AlCu geralmente terem sido consideradas iguais e melhores que àquelas feitas com o filtro padrão de alumínio.

MAURIELLO *et al.* (1996), quando compararam filtros de alumínio e alumínio adicionado a 0,127mm de samário, observaram um aumento do tempo de exposição, uma menor dose de radiação e uma qualidade comparável das imagens radiográficas, resultados que se assemelham aos por nós obtidos apenas usando filtro de liga de AlCu e sem filtração adicional, com exceção do tempo de exposição que, em nosso trabalho, foi sempre igual ou menor àquele utilizado com filtro de alumínio. Outro fator que consideramos de grande

importância é o fato de que os filtros de ítrio e nióbio e os terras-raras, como samário, érbio, gadolínio e outros, são difíceis de serem encontrados e têm um alto preço, condição esta não existente nas ligas de AlCu.

WHITE & GRATT (1991) obtiveram redução da dose de radiação e um aumento do tempo de exposição em cerca de 50% com o uso de filmes Ultraspeed e Ektaspeed combinados com filtros de nióbio; porém, com o filme Ektaspeed, segundo os autores, houve uma redução da qualidade da imagem radiográfica. O uso do filme Ultraspeed não reduziu a qualidade das nossas imagens radiográficas e nem das obtidas por MacDONALD-JANKOWSKI *et al.* (1995), quando estudaram filtro de alumínio e este combinado a 0,1mm de érbio, 0,05mm de nióbio e 0,1mm de ítrio. No entanto, observamos uma preferência pelas imagens obtidas com o filme Ektaspeed Plus pelos examinadores do nosso trabalho.

## **7. CONCLUSÃO**

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por este trabalho mostraram que, ao se utilizar 70kVp e filme Ektaspeed Plus, a liga de AlCu, nos percentuais de 3% e 4%, pode substituir o filtro padrão sem perda da qualidade da imagem. No caso do filtro de liga de AlCu 4% com 2,33mm de espessura, os resultados se mostraram superiores em relação ao poder de filtração com alumínio, além de mostrarem redução de 47,33% na taxa média de *kerma* no ar.

Com relação à liga de AlCu 3%, nas espessuras de 1,13mm, 1,76mm e 2,10mm, e à liga AlCu 4%, nas espessuras de 1,24mm e 1,59mm, obteve-se um comportamento do poder de filtração semelhante ao do filtro de alumínio e diminuição na taxa de *kerma* no ar.

Com relação aos demais percentuais e espessuras dos filtros da liga de AlCu, não se obteve um comportamento semelhante do espectro de energia ao encontrado quando do uso do filtro padrão de alumínio nas mesmas condições.

Foi também encontrada uma redução na taxa média de *kerma* no ar quando foram utilizados 70kVp e filtração de AlCu no percentual de 2% nas espessuras de 1,29mm, 2,12mm e 2,28mm.

Quando utilizados 60kVp, filme Ektaspeed Plus e filtro de liga de AlCu 4% nas espessuras de 0,99mm e 1,59mm, também foi obtida uma redução da taxa média de *kerma* no ar.

Quando utilizados 60kVp e 70kVp, filme Ultraspeed e filtro de liga de AlCu não foi observada redução da taxa média de *kerma* no ar.

Houve uma preferência pelas imagens obtidas com 70kVp, filme Ektaspeed Plus e filtro de liga de AlCu 3%.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS \*

1. BECKER, P.H.B. **Espectrometria de feixes de raios X com detector de telureto de cádmio e zinco.** Rio de Janeiro, 1997. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro, Ministério do Exército Secretaria de Ciência e Tecnologia.
2. BRASIL. Portaria n. 453, 1 jan. 1998. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios X diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v.136, n.103-E, p.7-16, 2 jun. 1998. Seção 1.
3. BYRNE, C.M., PHAROAH, M.J., WOOD, R.E. Skin exposure and thyreoid dose distribution using niobium filtration. **J. Can. dent. Ass.**, Ottawa, v.57, n.8, p.663-665, Aug. 1991.
4. CASATI ALVARES, L., TAVANO, O. A imagem radiográfica. *In:* \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. **Curso de radiologia em odontologia.** São Paulo: Santos, 1987. p.25.
5. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, FREITAS, J.A.S. Estudo comparativo entre alguns materiais como substitutos para o tecido mole no que concerne à absorção de raios X e emissão de radiação secundária. **Estomatol. Cult.**, Bauru, v.3, n.2, p.153-166, jul./dez. 1969.
6. CHO, T. *et al.* Dental X-ray spectrometry with an Si(Li) semiconductor. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.45, n.6, p.965-977, June 1978.
7. CORDT, I., ENGELKE, W. Sind zusatzfilter aus niobium in der zahanärstlichen radiologie dem kupferfilter überlegen? **Schweiz. Monatsschr. Zahnmed.**, Bern, v.100, n.10, p.1160-1163, Okt. 1990.
8. DUCKWORTH, J.E. *et al.* The effects of spectral distribution on x-ray image quality. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.52, n.3, p.314-320, Sept. 1981.

---

\* De acordo com a NBR 6023: Referências Bibliográficas, de 1989, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Abreviatura dos periódicos em conformidade com “World List of Scientific Periodicals”.

9. FARMAN, A.G. *et al.* Evaluation of aluminum-yttrium filtration for intraoral radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.67, n.2, p.224-226, Feb. 1989.
10. GELSKEY, D.E., BAKER, C.G. Energy selective filtration of dental x ray beams. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.52, n.5, p.565-567, Nov. 1981.
11. HORNER, K., LAWINSKI, C.P., SMITH, N.J.D. Erbium filtration for dose reduction in dental radiography. **Br. J. Radiol.**, London, v.61, n.727, p.609-612, July 1988.
12. HUEN, A. *et al.* Quasimonochromatic radiation for dental radiography. **J. dent. Res.**, Washington, v.55, n.1, p.148-153, Jan./Feb. 1976.
13. JANGLAND, L. AXELSSON, B. Niobium filters for dose reduction in pediatric radiology. **Acta radiol.**, Copenhagen, v.31, n.5, p.540-541, Sept. 1990.
14. KAPA, S.F., TYNDALL, D.A. A clinical comparison of image quality and patient exposure reduction in panoramic radiography with heavy metal filtration. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.67, n.6, p.750-759, June 1989.
15. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, OUELLETTE, T.E. The application of added beam filtration to intra-oral radiography. **Dentomaxillofac. Radiol.**, Basingstoke, v.19, n.2, p.67-74, May 1990.
16. KIRCOS, L.T., STANINEC, M., CHOU, L. Rare earth filters for intraoral radiography: exposure reduction as a function of kV(p) with comparisons of image quality. **J. Am. Dent. Ass.**, Chicago, v.118, p.605-609, May 1989.
17. KOHN, M.L., GOOCH, A.W., KELLER, W.S. Filters for radiation reduction: a comparison. **Radiology**, Oak Brook, v.167, n.1, p.255-257, Apr. 1988.
18. MacDONALD-JANKOWSKI, D.S., LAWINSKI, C.P. The reduction in radiation dose for intra-oral radiographs by the use of thin k-edge filters. **Br. J. Radiol.**, London, v.64, n.762, p.524-528, June 1991.
19. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. The reduction in radiation dose for intra-oral radiographs by the use of thin k-edge filters. **Br. J. Radiol.**, London, v.65, n.769, p.93-94, Jan. 1992.
20. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, PAYNE, M. The effect of thin k-edge filters on the image quality of D- and E-speed dental filme. **Dentomaxillofac Radiol.**, Basingstoke, v.24, n.1, p.23-29, Feb. 1995.

21. McDONNELL, D., PRICE, C. Effects of niobium filtration and constant potential on the attenuation of dental X-ray beams by water. **Dentomaxillofac Radiol.**, Basingstoke, v.20, n.2, p.77-80, May 1991.
22. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. Effects of additional filtration on image quality in dental radiography: comparison of niobium with aluminium. **Dentomaxillofac Radiol.**, Basingstoke, v.21, n.2, p.73-76, May 1992.
23. MANSON-HING, L.R., BLOXOM, R.M. A stepwedge quality assurance test for machine and processor in dental radiography. **J. Am. dent. Ass.**, Chicago, v.110, p.910-913, n.6, June 1985.
24. MAURIELLO, S.M., OVERMAN, V.P., MANN, G.B. Clinical evaluation of a samarium compound filter and E-speed film. **Quintessence int.**, Berlin, v.27, n.11, p.769-773, Nov. 1996.
25. \_\_\_\_\_, WASHBURN, O.B., MATTESON, S.R. Effects of rare-earth filters on patient exposure and image contrast. **J. dent. Res.**, Washington, v.66, n.8, p.1326-1330, Aug. 1987.
26. \_\_\_\_\_. *et al.* Clinical evaluation of a samarium/aluminum compound filter. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.68, n.1, p.108-114, July 1989.
27. NAGEL, H.D. Limitations in the determination of total filtration of X-ray tube assemblies. **Phys. Med. Biol.**, London, v.33, n.2, p.271-289, Feb. 1988.
28. OISHI, T.T., PARFITT, G.J. Effects of varying peak kilovoltage and filtration on diagnostic dental radiographs. **J. Can. dent. Ass.**, Ottawa, v.42, n.9, p.449-452, Sept. 1976.
29. PARDINI, L.C. **Filtração da radiação X em odontologia. Estudo comparativo entre filtros de alumínio, zinco e estanho.** Ribeirão Preto, 1995. 142p. Tese (Livre Docência em Ciências – Departamento de Estomatologia) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
30. PETTIGREW, J.C., COLLETT, W.K. A preliminary report: niobium filter for dental X-ray systems. **Fla. dent. J.**, Tampa, v.60, n.2, p.40-42, Summer 1989.

31. PONCE, A.Z., McDAVID, W.D., LANGLAND, O.E. The use of added erbium filtration in intraoral radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.66, n.4, p.513-517, Oct. 1988.
32. \_\_\_\_\_. *et al.* Use of E-speed film with added filtration. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.61, n.3, p.297-299, Mar. 1986.
33. PRICE, C. The effects of beam quality and optical density on image quality in dental radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.62, n.5, p.580-588, Nov. 1986.
34. RICHARDS, A.G. Quality of an X-ray beam. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.17, n.6, p.739-744, June 1964.
35. \_\_\_\_\_. *et al.* Samarium filters for dental radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.29, n.5, p.704-715, May 1970.
36. SCIENTIFIC GROUP THERMODATA EUROPE (SGTE). Phase diagram collection. 1p. Referência obtida via base de dados. Disponível na internet. <http://www.met.kth.se/pd/element/Al-Cu.html>. 25 junho 1997.
37. STANFORD, J.W. Recommendations for dental radiographic procedures. **Int. dent. J.**, Guilford, v.27, n.1, p.60-61, Mar. 1977.
38. STEPHENS, R.G., KOGON, S.L., REID, J.A. Prescription radiography. A new concept for radiation protection in dental practice. **J. Can. dent. Ass.**, Ottawa, v.51, n.9, p.672-679, Sept. 1985.
39. STIRLING, G.C., HOLLOWAY, A.F. Niobium filter vs. an aluminum filter. **Ont. Dent.**, Toronto, v.67, n.6, p.25-30, Oct. 1990.
40. TAMBURÚS, J. R. **Estudo laboratorial e clínico dos efeitos da associação colimador/sensibilidade do filme sobre a dose de exposição a radiação e sobre a qualidade da imagem radiográfica.** Ribeirão Preto, 1991. 136p. Tese (Livre Docência em Ciências) – Departamento de Estomatologia – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
41. TETRADIS, S. *et al.* Niobium filtration of conventional and high-frequency X-ray generator beams for intraoral radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.80, n.2, p.232-241, Aug. 1995.

42. TYNDALL, D.A. Spectroscopic analysis and dosimetry of diagnostic X-ray beams filtered by rare earth materials. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.62, n.2, p.205-211, Aug. 1986.
43. WAINWRIGHT, W.W. Filtration for lowest patient dose in dental radiography. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.16, n.5, p.561-571, May 1963.
44. WATANABE, P. C. A. **Filtração adicional da radiação X em Odontologia. Estudo comparativo entre filtros de alumínio e cobre.** São Paulo, 1999. 120p. Tese (Doutor em Ciências – Área de Concentração Diagnóstico Bucal) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo.
45. WHITE, S.C., GRATT, B.M. Evaluation of Niobi-X filtration in intraoral radiology. **Oral Surg.**, Saint Louis, v.72, n.6, p.746-755, Dec. 1991.
46. WILKS, R. The reduction in radiation dose for intra-oral radiographs by the use of thin k-edge filters. **Br. J. Radiol.**, London, v.65, n.769, p.93, Jan. 1992.

**ANEXO**

## ANEXO 1

TABELA 29

Densidade óptica segundo o código das radiografias e a espessura em milímetros da escala de densidade

| Código das radiografias | Espessura em milímetros de alumínio |      |      |      |      |      |      |      | Densidade base-velamento |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
|                         | 2                                   | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   |                          |
| ASW                     | 3,04                                | 2,25 | 1,68 | 1,29 | 1,01 | 0,81 | 0,63 | 0,53 | 0,15                     |
| ATW                     | 2,60                                | 1,95 | 1,48 | 1,17 | 0,95 | 0,76 | 0,63 | 0,51 | 0,16                     |
| BSW                     | 3,66                                | 2,65 | 1,97 | 1,52 | 1,17 | 0,93 | 0,76 | 0,66 | 0,18                     |
| BTW                     | 2,77                                | 2,04 | 1,56 | 1,24 | 0,97 | 0,79 | 0,66 | 0,56 | 0,17                     |
| ASKX4                   | 3,38                                | 2,42 | 1,75 | 1,31 | 1,00 | 0,80 | 0,63 | 0,55 | 0,18                     |
| ATKX4                   | 3,24                                | 2,34 | 1,77 | 1,39 | 1,10 | 0,88 | 0,73 | 0,62 | 0,20                     |
| BSKX4                   | 3,92                                | 2,71 | 1,96 | 1,46 | 1,14 | 0,92 | 0,74 | 0,62 | 0,19                     |
| BTKX4                   | 3,04                                | 2,14 | 1,58 | 1,22 | 0,97 | 0,79 | 0,65 | 0,55 | 0,17                     |
| ASKX19                  | 3,35                                | 2,42 | 1,77 | 1,34 | 1,03 | 0,82 | 0,65 | 0,55 | 0,17                     |
| ATKX19                  | 3,03                                | 2,25 | 1,74 | 1,39 | 1,10 | 0,90 | 0,73 | 0,63 | 0,18                     |
| BSKX19                  | 3,45                                | 2,40 | 1,75 | 1,32 | 1,02 | 0,82 | 0,65 | 0,56 | 0,19                     |
| BTKX19                  | 2,75                                | 1,99 | 1,50 | 1,18 | 0,93 | 0,77 | 0,63 | 0,54 | 0,18                     |
| ASKX9                   | 3,01                                | 2,16 | 1,59 | 1,23 | 0,94 | 0,74 | 0,60 | 0,51 | 0,18                     |
| ATKX9                   | 3,07                                | 2,30 | 1,76 | 1,40 | 1,11 | 0,90 | 0,75 | 0,62 | 0,18                     |
| BSKX9                   | 3,44                                | 2,41 | 1,75 | 1,33 | 1,03 | 0,8  | 0,66 | 0,56 | 0,18                     |
| BTKX9                   | 3,21                                | 2,32 | 1,75 | 1,38 | 1,09 | 0,91 | 0,75 | 0,64 | 0,20                     |
| ASKX6                   | 2,92                                | 2,10 | 1,56 | 1,18 | 0,91 | 0,73 | 0,58 | 0,49 | 0,17                     |
| ATKX6                   | 2,89                                | 2,16 | 1,66 | 1,30 | 1,03 | 0,86 | 0,71 | 0,61 | 0,20                     |
| BSKX6                   | 3,34                                | 2,37 | 1,72 | 1,30 | 1,01 | 0,81 | 0,68 | 0,58 | 0,19                     |
| BTKX6                   | 2,61                                | 1,90 | 1,44 | 1,13 | 0,93 | 0,78 | 0,64 | 0,54 | 0,20                     |
| ASKX7                   | 2,98                                | 2,15 | 1,59 | 1,24 | 0,97 | 0,78 | 0,62 | 0,54 | 0,18                     |

Continua

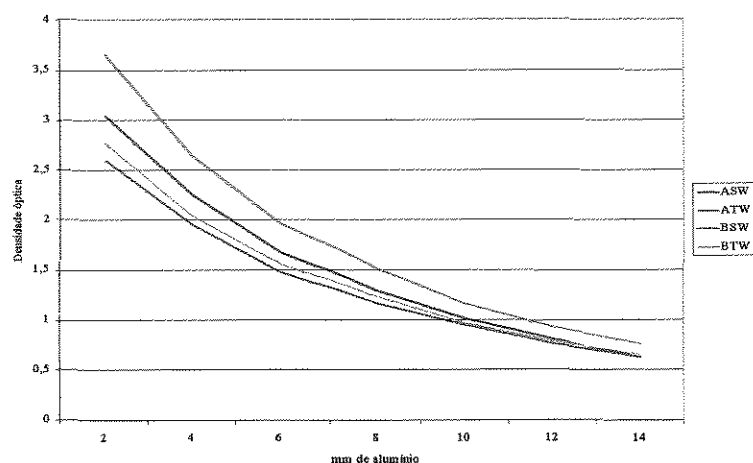
| Código das radiografias | Espessura em milímetros de alumínio |      |      |      |      |      |      |      | Densidade base-velamento |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
|                         | 2                                   | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   |                          |
| ATKX7                   | 2,84                                | 2,16 | 1,61 | 1,28 | 1,03 | 0,84 | 0,69 | 0,59 | 0,19                     |
| BSKX7                   | 3,15                                | 2,33 | 1,70 | 1,32 | 0,98 | 0,81 | 0,64 | 0,54 | 0,16                     |
| BTKX7                   | 3,06                                | 2,25 | 1,71 | 1,35 | 1,08 | 0,89 | 0,74 | 0,63 | 0,20                     |
| BTKX196                 | 2,51                                | 1,84 | 1,44 | 1,15 | 0,92 | 0,82 | 0,65 | 0,54 | 0,19                     |
| BTKX79                  | 2,42                                | 1,84 | 1,41 | 1,11 | 0,91 | 0,77 | 0,63 | 0,55 | 0,19                     |
| ASKY3                   | 3,63                                | 2,60 | 1,89 | 1,42 | 1,10 | 0,88 | 0,71 | 0,60 | 0,19                     |
| ATKY3                   | 2,83                                | 2,04 | 1,52 | 1,18 | 0,93 | 0,77 | 0,63 | 0,53 | 0,18                     |
| BSKY3                   | 3,35                                | 2,30 | 1,63 | 1,23 | 0,95 | 0,75 | 0,60 | 0,52 | 0,18                     |
| BTKY3                   | 3,15                                | 2,21 | 1,63 | 1,26 | 0,98 | 0,80 | 0,66 | 0,56 | 0,18                     |
| ASKY5                   | 3,51                                | 2,51 | 1,83 | 1,38 | 1,05 | 0,83 | 0,66 | 0,55 | 0,16                     |
| ATKY5                   | 2,68                                | 1,93 | 1,42 | 1,10 | 0,86 | 0,69 | 0,57 | 0,50 | 0,18                     |
| BSKY5                   | 3,23                                | 2,21 | 1,57 | 1,17 | 0,91 | 0,73 | 0,59 | 0,51 | 0,19                     |
| BTKY5                   | 3,11                                | 2,18 | 1,61 | 1,23 | 0,98 | 0,81 | 0,66 | 0,57 | 0,19                     |
| ASKY0                   | 3,35                                | 2,39 | 1,75 | 0,31 | 0,99 | 0,78 | 0,62 | 0,52 | 0,17                     |
| ATKY0                   | 2,70                                | 1,95 | 1,45 | 1,14 | 0,91 | 0,74 | 0,62 | 0,53 | 0,20                     |
| BSKY0                   | 3,15                                | 2,14 | 1,52 | 1,14 | 0,90 | 0,70 | 0,58 | 0,52 | 0,18                     |
| BTKY0                   | 2,88                                | 2,05 | 1,54 | 1,19 | 0,95 | 0,75 | 0,61 | 0,53 | 0,19                     |
| ASKY8                   | 3,09                                | 2,18 | 1,60 | 1,24 | 0,96 | 0,76 | 0,60 | 0,50 | 0,19                     |
| ATKY8                   | 3,07                                | 2,29 | 1,74 | 1,38 | 1,10 | 0,89 | 0,75 | 0,62 | 0,18                     |
| BSKY8                   | 3,57                                | 2,50 | 1,82 | 1,38 | 1,06 | 0,86 | 0,68 | 0,59 | 0,18                     |
| BTKY8                   | 2,68                                | 1,94 | 1,45 | 1,12 | 0,91 | 0,74 | 0,60 | 0,53 | 0,18                     |
| ASKY1                   | 3,01                                | 2,17 | 1,59 | 1,21 | 0,93 | 0,75 | 0,60 | 0,50 | 0,19                     |
| ATKY1                   | 2,94                                | 2,20 | 1,68 | 1,32 | 1,06 | 0,86 | 0,71 | 0,60 | 0,18                     |
| BSKY1                   | 3,55                                | 2,51 | 1,83 | 1,40 | 1,09 | 0,87 | 0,71 | 0,61 | 0,17                     |
| BTKY1                   | 2,67                                | 1,91 | 1,45 | 1,14 | 0,91 | 0,76 | 0,62 | 0,52 | 0,18                     |
| BTKY83                  | 3,10                                | 2,28 | 1,73 | 1,36 | 1,08 | 0,90 | 0,74 | 0,63 | 0,18                     |
| BSKY15                  | 3,12                                | 2,22 | 1,64 | 1,25 | 0,99 | 0,80 | 0,63 | 0,53 | 0,17                     |



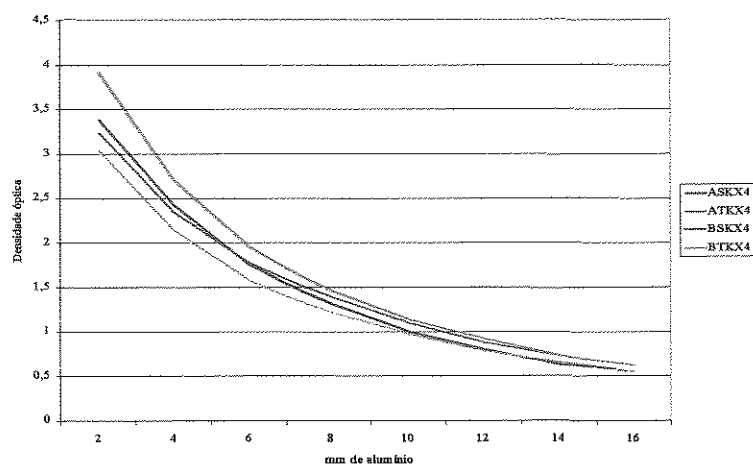
Conclusão

| Código das radiografias | Espessura em milímetros de alumínio |      |      |      |      |      |      |      | Densidade base-velamento |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
|                         | 2                                   | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   |                          |
| BTKY15                  | 2,95                                | 2,18 | 1,66 | 1,32 | 1,05 | 0,88 | 0,72 | 0,61 | 0,18                     |
| BTKY18                  | 2,63                                | 2,02 | 1,49 | 1,18 | 0,94 | 0,83 | 0,65 | 0,55 | 0,16                     |
| BTKY183                 | 3,05                                | 2,31 | 1,79 | 1,40 | 1,14 | 0,94 | 0,78 | 0,66 | 0,20                     |
| ASKZ2                   | 3,59                                | 2,52 | 1,83 | 1,39 | 1,04 | 0,81 | 0,65 | 0,56 | 0,17                     |
| ATKZ2                   | 2,84                                | 2,01 | 1,49 | 1,18 | 0,92 | 0,75 | 0,62 | 0,53 | 0,17                     |
| BSKZ2                   | 3,37                                | 2,28 | 1,61 | 1,21 | 0,97 | 0,75 | 0,61 | 0,51 | 0,17                     |
| BTKZ2                   | 3,23                                | 2,27 | 1,67 | 1,28 | 1,06 | 0,84 | 0,67 | 0,57 | 0,17                     |
| ASKZ5                   | 3,10                                | 2,21 | 1,60 | 1,20 | 0,91 | 0,74 | 0,58 | 0,54 | 0,16                     |
| ATKZ5                   | 3,13                                | 2,32 | 1,75 | 1,35 | 1,07 | 0,87 | 0,70 | 0,58 | 0,18                     |
| BSKZ5                   | 3,65                                | 2,56 | 1,84 | 1,40 | 1,08 | 0,86 | 0,70 | 0,59 | 0,17                     |
| BTKZ5                   | 2,79                                | 1,98 | 1,47 | 1,16 | 0,94 | 0,75 | 0,61 | 0,52 | 0,19                     |
| ASKZ1                   | 3,41                                | 2,52 | 1,89 | 1,44 | 1,10 | 0,88 | 0,71 | 0,60 | 0,16                     |
| ATKZ1                   | 2,99                                | 2,25 | 1,70 | 1,36 | 1,08 | 0,89 | 0,73 | 0,61 | 0,16                     |
| BSKZ1                   | 3,28                                | 2,32 | 1,70 | 1,30 | 1,00 | 0,81 | 0,65 | 0,55 | 0,19                     |
| BTKZ1                   | 2,65                                | 1,94 | 1,44 | 1,15 | 0,94 | 0,76 | 0,61 | 0,54 | 0,17                     |
| BSKZ15                  | 3,37                                | 2,46 | 1,83 | 1,41 | 1,11 | 0,89 | 0,72 | 0,61 | 0,19                     |
| BTKZ15                  | 2,65                                | 1,96 | 1,51 | 1,22 | 0,97 | 0,81 | 0,65 | 0,57 | 0,19                     |
| BTKZ12                  | 2,95                                | 2,18 | 1,67 | 1,30 | 1,05 | 0,87 | 0,72 | 0,61 | 0,18                     |
| BTKZ152                 | 2,86                                | 2,19 | 1,70 | 1,36 | 1,10 | 0,90 | 0,76 | 0,64 | 0,18                     |

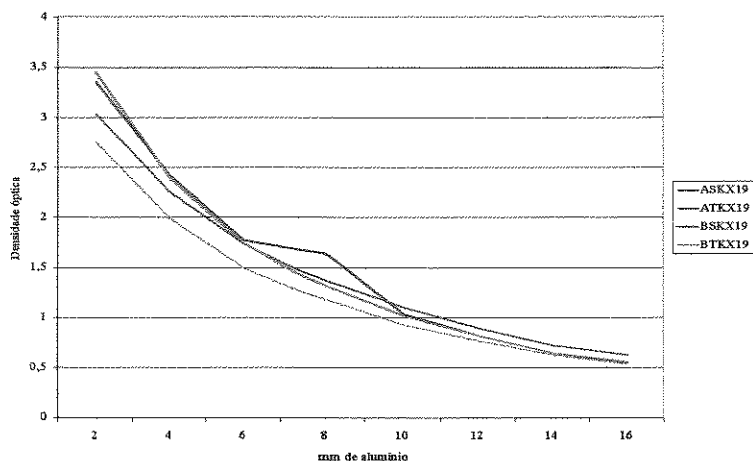
Densidade base-velamento foi fornecida pela leitura da densidade óptica da lâmina de chumbo dobrada.



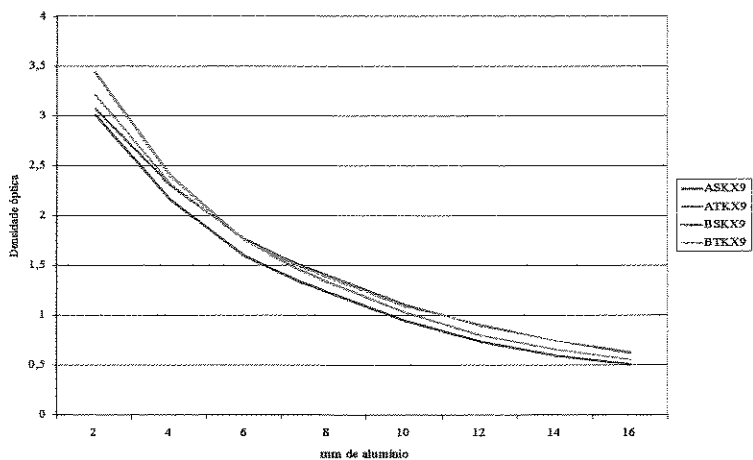
**GRÁFICO 25 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASW, ATW, BSW e BTW, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 26 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKX4, ATKX4, BSKX4 e BTKX4, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 27 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKX19, ATKX19, BSKX19 e BTKX19, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 28 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKX9, ATKX9, BSKX9 e BTKX9, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

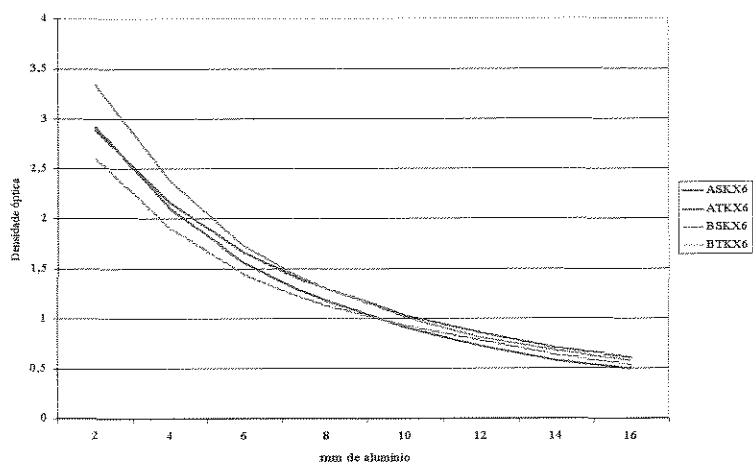


GRÁFICO 29 - Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKX6, ATKX6, BSKX6 e BTKX6, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

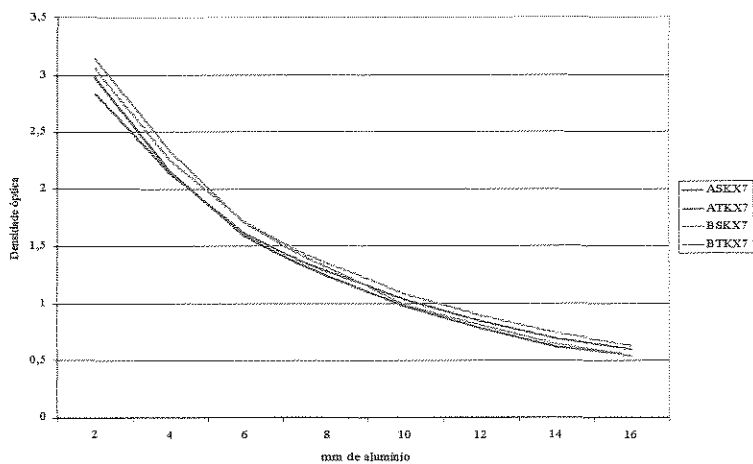


GRÁFICO 30 - Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKX7, ATKX7, BSKX7 e BTKX7, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

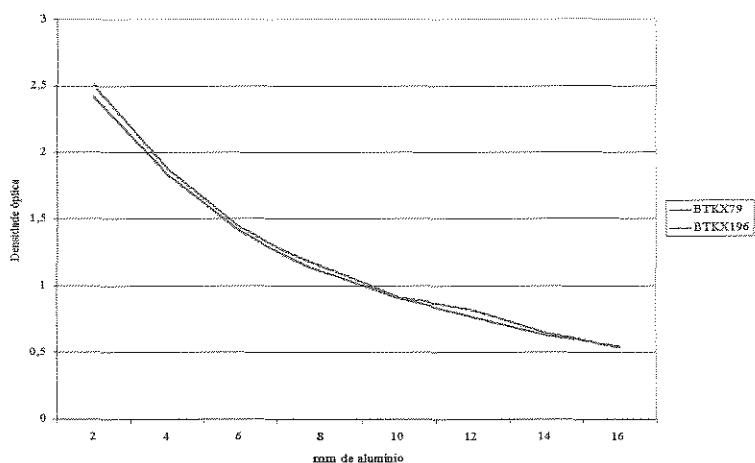


GRÁFICO 31 - Densidade ótica dos códigos das radiografias BTKX79 e BTKX196, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

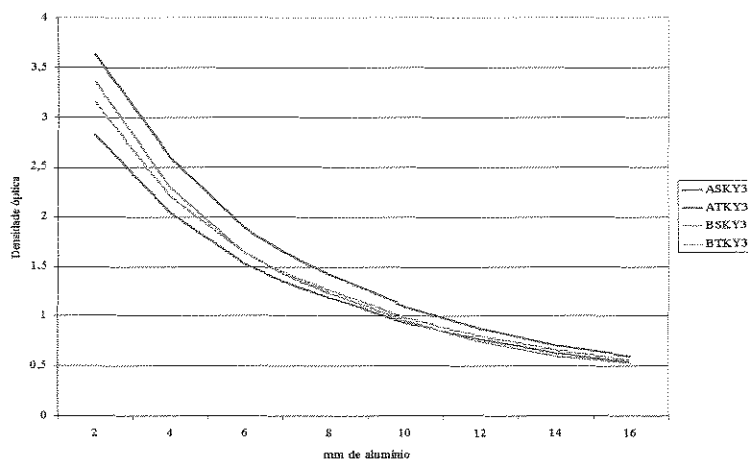
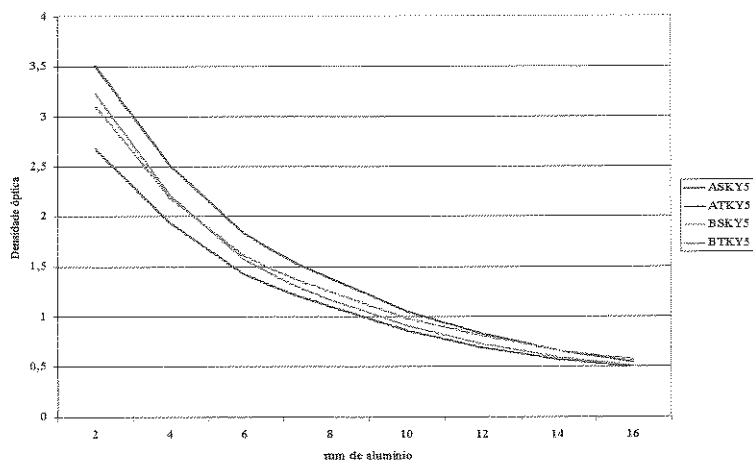
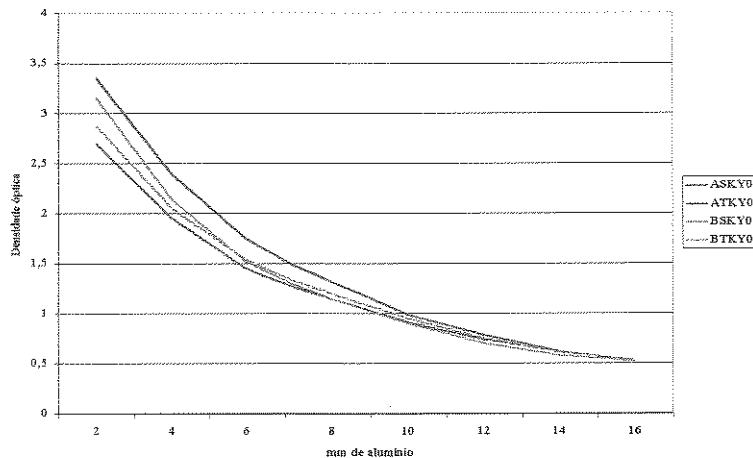


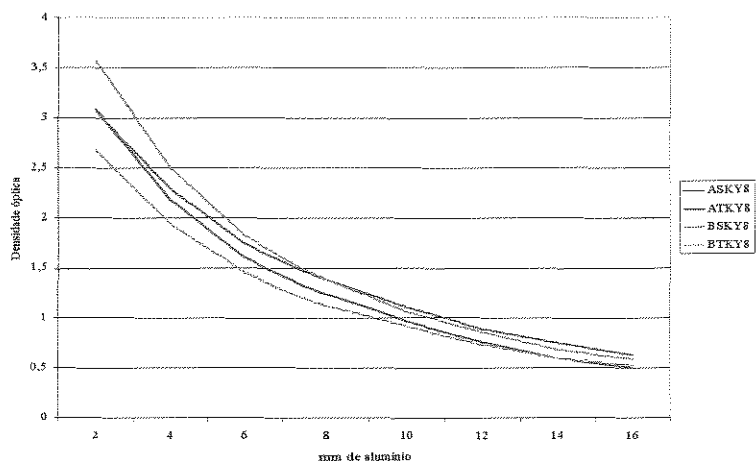
GRÁFICO 32 - Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKY3, ATKY3, BSKY3 e BTKY3, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



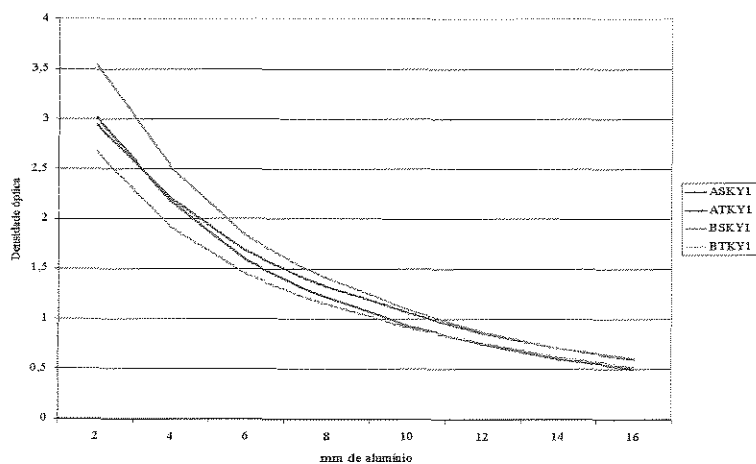
**GRÁFICO 33 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKY5, ATKY5, BSKY5 e BTKY5, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



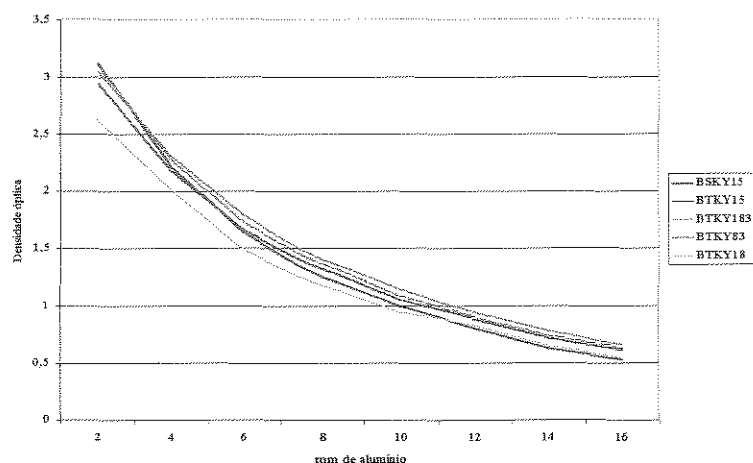
**GRÁFICO 34 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKY0, ATKY0, BSKY0 e BTKY0, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



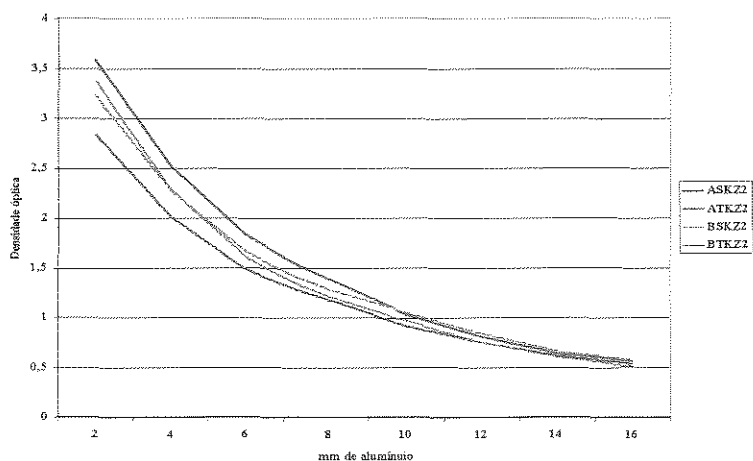
**GRÁFICO 35 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKY8, ATKY8, BSKY8 e BTKY8, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 36 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKY1, ATKY1, BSKY1 e BTKY1, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 37 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias BSKY15, BTKY15, BTKY183, BTKY83 e BTKY18, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



**GRÁFICO 38 -** Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKZ2, ATKZ2, BSKZ2 e BTKZ2, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.



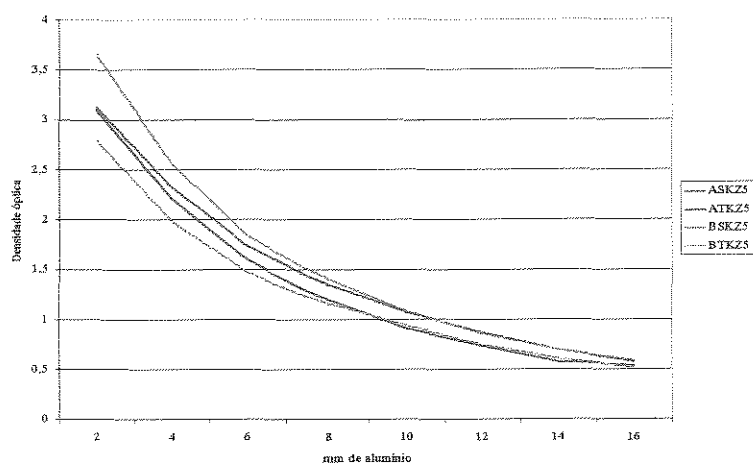


GRÁFICO 39 - Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKZ5, ATKZ5, BSKZ5 e BTKZ5, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

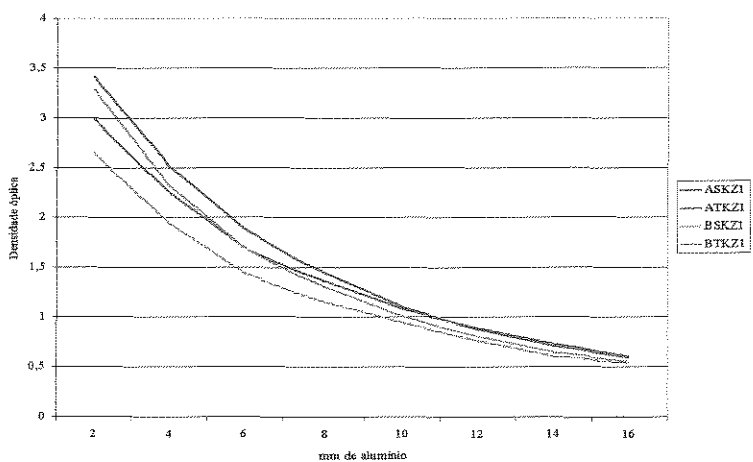


GRÁFICO 40 - Densidade ótica dos códigos das radiografias ASKZ1, ATKZ1, BSKZ1 e BTKZ1, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

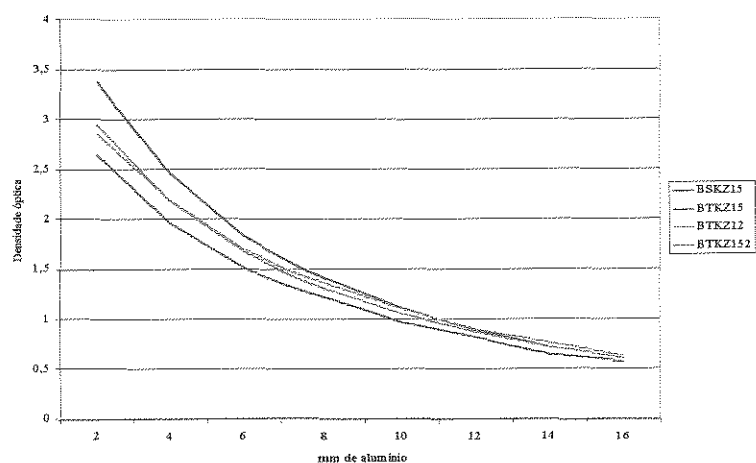


GRÁFICO 41 - Densidade ótica dos códigos das radiografias BSKZ15, BTKZ15, BTKZ12 e BTKZ152, segundo a espessura em milímetros de alumínio da escala de densidade.

## ANEXO 2

Avaliador: \_\_\_\_\_

Antes de avaliar quaisquer radiografias, faça uma comparação rápida de todas as radiografias na amostra. Use essa comparação quando preencher os questionários.

Avalie as cartelas de números 1, 2, 3 e 4 e escolha, na sua opinião, a melhor radiografia de cada cartela e, por favor, monte-as na cartela vazia e de n.º 5 que recebeu. De posse dessa nova cartela, inicie a avaliação comparando as radiografias dessa cartela n.º 5. A seguir escolha a melhor radiografia dessa cartela de n.º 5, de acordo com sua opinião; coloque sua sigla no espaço abaixo e, então, prossiga avaliando a radiografia escolhida.

Para as seguintes questões, assinale o n.º da escala que corresponde ao mais próximo da sua resposta à questão. Por favor, use a escala toda, de 1 a 4 para sua avaliação da radiografia escolhida.

Como você avaliaria a densidade do filme? (Densidade é o grau de escurecimento do filme exposto)

|       |       |        |              |
|-------|-------|--------|--------------|
| clara | média | escura | muito escura |
| 1     | 2     | 3      | 4            |

Como você avaliaria a imagem dos tecidos duros?

|       |          |     |           |
|-------|----------|-----|-----------|
| pobre | razoável | boa | excelente |
| 1     | 2        | 3   | 4         |

Como você avaliaria a imagem da lesão periapical do dente 38, considerando a densidade ?

|       |          |     |           |
|-------|----------|-----|-----------|
| pobre | razoável | boa | excelente |
| 1     | 2        | 3   | 4         |

Como você avaliaria o contraste do filme? (Contraste é definido como a diferença nas densidades entre várias regiões numa radiografia)

Áreas muito claras e muito escuras = Alto Contraste ou Escala Curta do Contraste de Cinza

Áreas de Cinza claro e cinza escuro = Baixo Contraste ou Escala Longa do Contraste de Cinza

|       |          |     |           |
|-------|----------|-----|-----------|
| pobre | razoável | bom | excelente |
| 1     | 2        | 3   | 4         |

Usando os critérios abaixo, avalie as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida. Coloque o n.º correspondente a sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

### Estruturas

Junção cimento-esmalte na distal do dente 36

( )

Ápice do dente 38

( )

Espaço pericementário do dente 36

( )

### Crítérios

|            |                 |          |                   |
|------------|-----------------|----------|-------------------|
| inadequado | apenas adequado | adequado | mais que adequado |
| 1          | 2               | 3        | 4                 |

De posse da cartela de n.º 5, inicie a avaliação comparando as radiografias de cada cartela já numerada com as da cartela de n.º 5. Selecione, na sua opinião, a melhor radiografia de cada cartela e identifique-a, assinalando com um X no espaço em frente de cada código para cada uma das cartelas.

Cartela n.º 6

Radiografia escolhida: ☐ASKX4N  
☐ASKX4I  
☐ASKX4  
☐ASKX4M

Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

| inadequado<br>1                              | apenas adequado<br>2 | adequado<br>3 | mais que adequado<br>4 |
|--|----------------------|---------------|------------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 |                      |               | <input type="text"/>   |
| Ápice do dente 38                            |                      |               | <input type="text"/>   |
| Espaço pericementário do dente 36            |                      |               | <input type="text"/>   |

Cartela n.º 7

Radiografia escolhida: ☐ATKX4N  
☐ATKX4I  
☐ATKX4  
☐ATKX4M

Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

| inadequado<br>1                              | apenas adequado<br>2 | adequado<br>3 | mais que adequado<br>4 |
|--|----------------------|---------------|------------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 |                      |               | <input type="text"/>   |
| Ápice do dente 38                            |                      |               | <input type="text"/>   |
| Espaço pericementário do dente 36            |                      |               | <input type="text"/>   |

Cartela n.º 8

Radiografia escolhida: ☐BSKX4N  
☐BSKX4I  
☐BSKX4  
☐BSKX4M

Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

| inadequado<br>1                              | apenas adequado<br>2 | adequado<br>3 | mais que adequado<br>4 |
|--|----------------------|---------------|------------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 |                      |               | <input type="text"/>   |
| Ápice do dente 38                            |                      |               | <input type="text"/>   |
| Espaço pericementário do dente 36            |                      |               | <input type="text"/>   |

Cartela n.º 9

Radiografia escolhida: ☐ BTKX4N  
☐ BTKX4I  
☐ BTKX4  
☐ BTKX4M

Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

|            |                 |          |                   |
|------------|-----------------|----------|-------------------|
| inadequado | apenas adequado | adequado | mais que adequado |
| 1          | 2               | 3        | 4                 |

|  |                      |
|--|----------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 | <input type="text"/> |
| Ápice do dente 38                            | <input type="text"/> |
| Espaço pericementário do dente 36            | <input type="text"/> |

Cartela n.º 10

Radiografia escolhida: ☐ ASKX9N  
☐ ASKX9I  
☐ ASKX9  
☐ ASKX9M

Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

|            |                 |          |                   |
|------------|-----------------|----------|-------------------|
| inadequado | apenas adequado | adequado | mais que adequado |
| 1          | 2               | 3        | 4                 |

|  |                      |
|--|----------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 | <input type="text"/> |
| Ápice do dente 38                            | <input type="text"/> |
| Espaço pericementário do dente 36            | <input type="text"/> |

Cartela n.º 11

Radiografia escolhida: ☐ ATKX9N  
☐ ATKX9I  
☐ ATKX9  
☐ ATKX9M

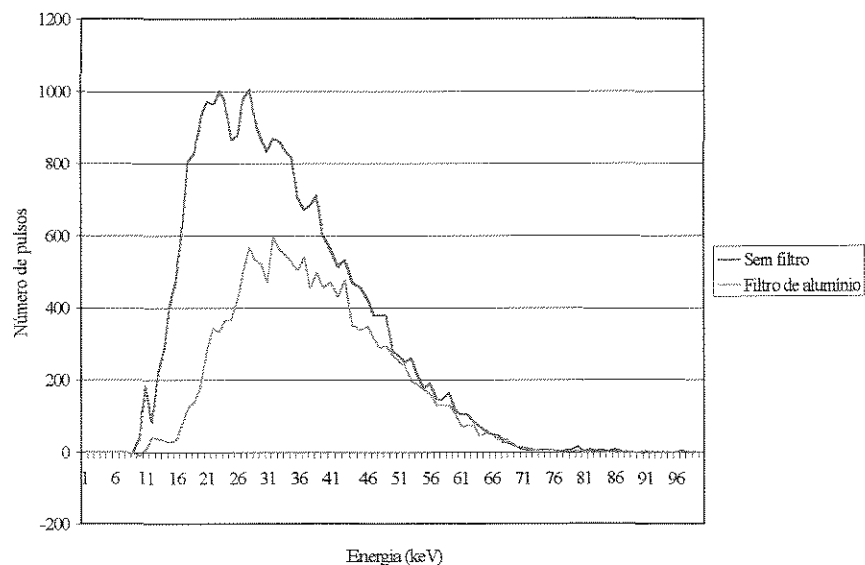
Avalie, então, as seguintes estruturas anatômicas na radiografia periapical escolhida, colocando o n.º correspondente ao critério abaixo para sua resposta no espaço fornecido próximo ao nome da estrutura.

|            |                 |          |                   |
|------------|-----------------|----------|-------------------|
| inadequado | apenas adequado | adequado | mais que adequado |
| 1          | 2               | 3        | 4                 |

|  |                      |
|--|----------------------|
| Junção cimento-esmalte na distal do dente 36 | <input type="text"/> |
| Ápice do dente 38                            | <input type="text"/> |
| Espaço pericementário do dente 36            | <input type="text"/> |

A partir da cartela de número 12, as questões foram mantidas iguais, somente alterando os códigos para as radiografias que seriam escolhidas.

### ANEXO 3



**GRÁFICO 42 -** Espectro de energia, em quiloeltronvolt, dos raios X de 70kVp com o filtro de alumínio (1,83mm de espessura) e sem o filtro de alumínio, segundo a contagem do número de fótons.