

# Ceras de abelha: Um modelo de caracterização para sua utilização como tecido simulador base em teleterapia com fótons

Rogério Matias Vidal da Silva<sup>1</sup>, Divanízia do Nascimento Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rodovia Marechal Rondon, s/n (DFI) – Jardim Rosa Elze – São Cristóvão - SE  
49.100-000, Brasil  
[rmv.fisica@gmail.com](mailto:rmv.fisica@gmail.com), [divanizi@gmail.com](mailto:divanizi@gmail.com)

**Abstract.** Este trabalho apresenta um modelo de caracterização e seleção de ceras de abelhas, que possibilita atestar a viabilidade da utilização desse material como tecido simulador base na manufatura de objetos apropriados para radioterapia externa com feixes de fótons de megavoltagem. O trabalho foi dividido em três etapas, em que foram avaliadas propriedades físicas e químicas, além de aspectos relacionados à capacidade de atenuação do feixe. Teve-se o cuidado de acompanhar todo o processo relacionado à origem da cera, como a espécie da abelha e a flora no entorno das colmeias. A composição química das ceras é similar a outros simuladores comumente utilizados em radioterapia. O comportamento do coeficiente de atenuação mássico na faixa de energia radioterápica é comparável a outros simuladores, e consequentemente ao do tecido mole. O modelo proposto é eficaz e permite afirmar-se a utilização de determinada cera de abelha como tecido simulador base é conveniente.

## 1 Introdução

O procedimento radioterápico representa uma ferramenta bastante eficaz no tratamento do câncer e apesar dos equipamentos e dos sistemas de planejamento computadorizados (TPS) usados para esse fim simularem com precisão a projeção do campo de radiação, distribuindo melhor a dose aplicada no tumor e minimizando a ação dessa radiação nos órgãos e tecidos sadios, a relação existente entre a dose entregue pelo equipamento e a recebida pelo paciente não pode ser facilmente determinada [1]. Desta forma, condições de prática clínica que reproduzam o tratamento, substituindo o paciente por um dispositivo experimental que possua propriedades físico-químicas análogas ao tecido humano são convenientes e devem ser utilizadas e desenvolvidas. Os equipamentos e acessórios atualmente disponíveis no mundo para essa finalidade têm diferentes graus de complexidade e, apesar de não terem similares nacionais, todos são altamente taxados pelo governo brasileiro, que não possui legislação fiscal específica para importação desse tipo de equipamento [2]. Dessa maneira, a experimentação de produtos alternativos que possam ser empregados na manufatura desses materiais é de fundamental importância. A produção de equipamentos de baixo custo, como simuladores e bólus, permitirá que centros de radioterapia do Brasil tenham a possibilidade de investigar e desenvolver

novas técnicas de tratamento e controle de qualidade. Os materiais que simulam os tecidos do corpo do paciente são comumente denominados de tecido simulador ou substituto. No entanto, segundo White [3] não há substância química simples capaz de substituir a composição atômica dos tecidos do corpo. A composição desejada pode ser geralmente obtida em misturas aquosas ou géis. Contudo, misturas como essas são inconvenientes, devido a diversos fatores, como toxicidade e disponibilidade de substâncias químicas apropriadas. Dessa forma, na formulação de um tecido substituto, primeiramente deve-se escolher um *material base*, que já possua propriedades de atenuação e espalhamento semelhantes ao tecido a ser simulado [4]. Em uma segunda etapa, devem-se adicionar substâncias capazes de corrigir as deficiências do material base [5].

O documento oficial que normatiza os procedimentos para caracterização de um tecido substituto é o REPORT 44 da Comissão Internacional de Unidades e Medidas em Radiação (ICRU) [6]. Esse documento trata dos coeficientes de interação que devem ser obtidos e das quantidades que devem ser consideradas durante o processo de caracterização. O REPORT 44 recomenda que no processo de avaliação e caracterização de um material simulador os seguintes aspectos sejam avaliados:

**Composição/pureza.** A composição elementar do material deve ser conhecida e, dentro da acurácia necessária para aplicação desejada, agentes contaminantes devem ser evitados, especialmente aqueles cujo número atômico seja maior que 20 ( $Z > 20$ );

**Homogeneidade.** A falta de homogeneidade devida à má dispersão dos componentes e a porosidade não devem introduzir incertezas maiores que 1% na transmissão da radiação ou na estimativa de doses;

**Estabilidade.** O material base deve ser inerte e não deve se degradar quando exposto a repetidas irradiações;

**Forma.** Tecidos substitutos devem permitir manipulação e, dessa forma, a confecção de moldes na forma desejada.

### 1.1 Ceras de Abelha

A cera de abelha é um produto fisiológico produzido dentro da colmeia pelas abelhas cerígenas. Para a sua elaboração as abelhas engolem e digerem o mel, transformam o alimento em gordura e, em 24 horas, já estarão fornecendo cera [7]. As glândulas cerígenas localizam-se na parte ventral do abdômen das abelhas e são compostas de quatro pares que se projetam lado a lado nos últimos segmentos abdominais. A cera é expelida dessas glândulas na forma líquida e se solidifica somente quando entra em contato com a temperatura ambiente. As abelhas produzem cera para a construção dos favos e para operculação, que é o processo pelo qual as abelhas fecham os alvéolos (de cria e de mel) com uma fina camada de cera. A cera de opérculo é a que oferece melhor qualidade e menor índice de impurezas [7].

A cera de abelha já é empregada como bólus apresentando resultados satisfatórios [8] [9]. Além de ser um produto totalmente natural, o quilograma da cera de abelha bruta tem valor de mercado muito inferior em relação a outros tipos de materiais empregados para esse fim, como o acrílico e o polietileno [10]. Essas características fazem da cera de abelha uma excelente alternativa para substituir os usuais materiais simuladores de tecido mole. Porém, é comum a prática de adulterações, que

modificam estocasticamente sua composição original [10]. Outros fatores importantes citados na literatura [11], que também podem alterar sua composição são as condições ambientais e geográficas do ponto de origem (localização das colmeias) e a espécie da abelha que a produziu. Dessa forma, detectar possíveis adulterações através de protocolos consolidados internacionalmente e conhecer as condições ambientais e geográficas da região onde foi extraída a cera são procedimentos de fundamental importância neste trabalho, pois pequenas alterações na estrutura química da cera podem promover incertezas indesejáveis nas medidas necessárias para a caracterização de um tecido simulador.

### **1.2 Estrutura do Modelo de Caracterização**

O presente trabalho foi dividido em três etapas distintas, a primeira avaliou características relacionadas à origem da cera (espécie de abelha que a produziu, flora no entorno da colmeia e a forma de extração), além de algumas propriedades químicas desse material, que permitem atestar a ausência de agentes adulterantes, denominada neste trabalho de caracterização preliminar; a segunda etapa avaliou propriedades físicas da cera, como a capacidade de moldagem, e suas propriedades químicas, onde através de técnicas de microanálises obteve-se o percentual dos seus elementos constituintes; e a terceira etapa que avaliou o coeficiente de atenuação linear e mássico de forma prática e através do programa Xmutat.

### **1.3 Objetivo do Trabalho**

Dessa forma, esse trabalho propõe um modelo para caracterização de ceras de abelha, conforme os requisitos encontrados na literatura para a escolha de um tecido substituto [6], a fim de possibilitar a sua utilização na fabricação de objetos simuladores apropriados para a radioterapia com feixes de fótons de megavoltagem.

## **2 Materiais e Métodos.**

### **2.1 Caracterização Preliminar**

A escolha das ceras de abelha que foram utilizadas nesse trabalho foi baseada na caracterização da flora apícola do semi-árido da Paraíba realizada por Silva e Aquino [12].

A norma brasileira que estabelece parâmetros para a qualidade de ceras de abelha é dada de forma sucinta pela Instrução Normativa nº3, de janeiro de 2001, do Ministério da Agricultura [13]. Assim, além das normas previstas nesta instrução normativa, métodos oficiais para análises de gorduras e óleos adotados pelos Estados Unidos, Reino Unido e Espanha também foram utilizados, com pequenas adaptações, para atestar a pureza das ceras de abelha utilizadas [14-20]. Foram obtidos valores de densidade, saponificação, acidez, ésteres, absorção de iodo, peróxido, teor de cinzas, além do ponto de fusão. Em seguida os resultados encontrados foram comparados com os parâmetros descritos na literatura para cera de abelha pura sem adulteração [10] [21].

### **2.2 Aspectos Físicos**

**Estado.** O comportamento físico das ceras de abelha foi avaliado em função da variação da temperatura ambiente. Para tanto, se utilizou um forno com temperatura controlada. A avaliação foi realizada através da palpação e observação do material.

**Degradação por Repetidas Irradiações.** Foram confeccionados cubos de cera com 4 cm de aresta, que foram irradiados com uma dose de 50.000 Gray através do equipamento GAMMACELL 220 do fabricante MDS NORDION, modelo GC 220E N° 65 R (ASSY), com fonte de  $^{60}\text{Co}$ .

**Densidade.** A densidade foi obtida através do método do picnômetro. Em temperatura ambiente, obteve-se a massa do picnômetro vazio, massa  $m_1$ , utilizando-se uma balança digital. Em seguida, obteve-se a massa do picnômetro repleto de água (água destilada), massa  $m_2$ . Daí, os pedaços de ceras foram introduzidos no interior do picnômetro, que em seguida foi preenchido por água, massa  $m_3$ . Dessa forma, a densidade relativa foi determinada através da expressão,

$$\rho_{c,a} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{cera}}} . \quad (1)$$

Onde:  $m_{\text{água}} = m_2 - m_1$  e  $m_{\text{cera}} = m_2 - m_3$ . Considerando que a densidade da água destilada é  $\rho_{\text{água}} \cong 1\text{g/cm}^3$ , a densidade absoluta das ceras de abelha em  $\text{g/cm}^3$  foi obtida através da equação,

$$\rho_{c,a} = \frac{\rho_{\text{cera}}}{\rho_{\text{água}}} . \quad (2)$$

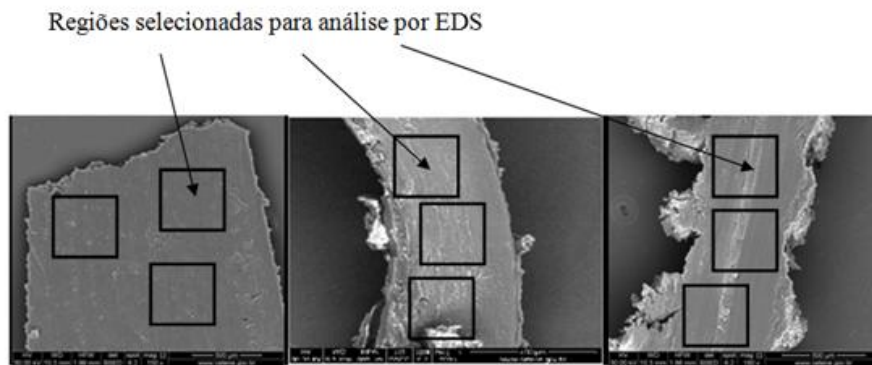
## 2.2 Aspectos Químicos

**Composição Química.** A composição química das ceras foi identificada através de três técnicas: Análise elementar CHN, microanálise por energia dispersiva em microscópio eletrônico de varredura e espectrometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado.

*Análise Elementar CHN.* Para a análise das quantidades de carbono, hidrogênio e nitrogênio utilizou-se a técnica da combustão através do equipamento Elemental Analyser CHN - Perkin-Elmer, modelo 2400.

*Microanálise Por Energia Dispersiva.* Para detectar a presença de oxigênio, na constituição das ceras utilizou-se a espectroscopia por dispersão de energia, com o uso de um microscópio eletrônico de varredura da marca FEI, modelo Quanta 200 FEG, com tensão de operação de 200 V a 30 kV e magnificação entre 20 e 400.000 vezes equipado com detectores Everhardt-Thornley SED, Low-vacuum SED (LFD) e Solid-state BSED. Para essa análise, as amostras de cera foram previamente preparadas em um metalizador, devido a sua não condutividade [22]. As amostras foram metalizadas com ouro. As análises foram realizadas, com tensão de feixe de 30 kV e tempo de contagem de 100s. A magnificação utilizada foi de 500x e, a partir de imagens provenientes de elétrons secundários, foram escolhidas três regiões aleatórias para cada tipo de cera analisada, donde foram realizadas as análises. A

figura 1 mostra a imagem obtida por elétrons secundários, bem como as regiões selecionadas para as análises. O percentual de oxigênio foi estimado a partir dos picos de contagem obtidos.

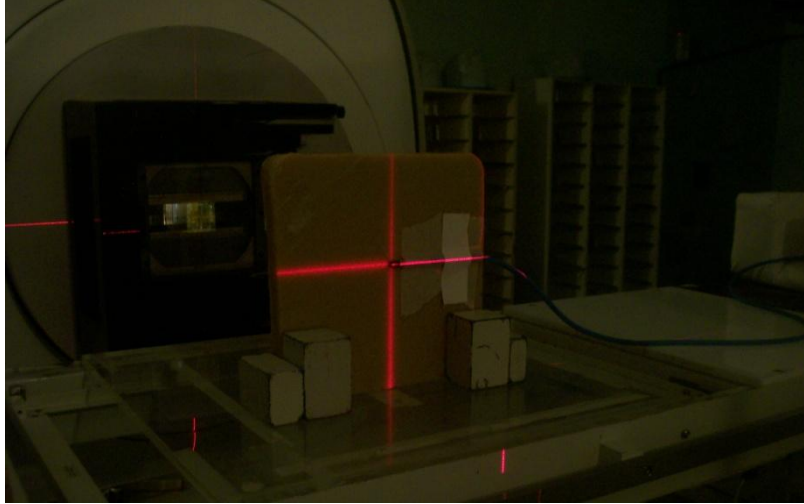


**Fig. 1.** Imagens obtidas por meio da análise dos elétrons secundários e regiões onde foram realizadas as análises por EDS para cada amostra de cera

*Espectrometria de Emissão Atômica Por Plasma Indutivamente Acoplado.* A espectrometria de emissão atômica foi utilizada por apresentar maior sensibilidade de detecção da presença de metais [23]. Foi feita a varredura dos seguintes elementos *Li / Ba / Co / Cu / Cd / Pb / As / Rh / Pd / Ir / Au / Ru / Sr / Mo / Pt / Se / Te / V / Sn / Be / Zr / Sb / Bi / Cr / Ti / Ni / Mn / B / Ag / W / Al / P / S / Fe / K / Zn / Si / Ca / Na*.

### 2.3 Aspectos Relacionados à Capacidade de Atenuação

**Coefficiente de Atenuação Linear Prático.** O Report 44 traz a afirmação que um tecido simulador irá atenuar radiação X da mesma forma que outro tecido se a variação do coeficiente de atenuação total em função da energia do fóton incidente for idêntica à do tecido que está sendo simulado [6]. Dessa forma, para obtenção do coeficiente de atenuação linear foram confeccionados blocos de cera com 25X25 cm e espessuras variadas com a utilização de uma forma untada com grafite, que posteriormente foram irradiadas em um acelerador linear SIEMENS, modelo PRIMUS MID ENERGY, com feixe de 6 MV. As medidas foram realizadas empregando-se uma câmara de ionização PTW 31011 e um eletrômetro PTW – UNIDOS E, conforme a figura 2.



**Fig. 2.** Placa devidamente posicionada na mesa de tratamento do acelerador e câmara de ionização centrada

Para obtenção do coeficiente de atenuação linear prático, utilizou-se o método da aproximação [24]. As placas confeccionadas com cera de abelha foram postas a uma distância de 100 cm do cabeçote da máquina, de modo a atenuar o feixe. As placas foram postas separadamente e em configurações aleatórias. Foram realizadas várias medidas com diferentes tamanhos de campo.

As leituras do eletrômetro foram introduzidas como  $I$  e  $I_0$  na equação abaixo,

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} . \quad (3)$$

Como se conhece a espessura das placas, obtidas através de um micrômetro, foi possível conhecer os coeficientes de atenuação linear total referentes aos campos com laterais de 12, 10, 6, 5, 4 e 3 cm na superfície da cera. Para obtenção do coeficiente de atenuação linear total com abertura de colimador zero referente ao feixe fino com mesma camada semi-redutora do feixe de 6 MV foi realizado um ajuste das curvas obtidas experimentalmente para cada tipo de cera, através de uma função gaussiana. Medidas com abertura de colimador inferior a 3 cm não foram realizadas, devido ao tamanho da cavidade da câmara de ionização utilizada.

**Coeficiente de Atenuação Mássico Prático.** O valor obtido para o coeficiente de atenuação linear  $\mu$  foi relacionado com a densidade da cera utilizada no processo de atenuação e através da equação,

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_c = \sum_i w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i , \quad (4)$$

em que,  $(\mu/\rho)_c$  é o coeficiente de atenuação mássico para o composto,  $(\mu/\rho)_i$  é o coeficiente de atenuação mássico para cada elemento individual e  $w_i$  é o peso fracionado dos elementos no composto. O valor obtido dessa operação foi comparado aos valores obtidos por Hubbel e Seltzer [25], a fim de se conhecer a energia efetiva do feixe polienergético, e consequentemente o poder de simulação prático das ceras de abelha. Esses dados relacionam o coeficiente de atenuação mássico para diversos elementos e compostos com a energia efetiva do feixe de fótons incidentes no material.

**Coefficiente de Atenuação Mássico Teórico.** Depois da obtenção percentual dos elementos químicos presentes nas ceras, o programa XmuDat [26] permitiu realizar diversas comparações acerca do comportamento do coeficiente de atenuação mássico com relação a outros simuladores e tecidos do corpo.

### 3 Resultados e Discussões.

#### 3.1 Caracterização Preliminar

Quanto a espécie, as abelhas encontradas atualmente no Brasil são um híbrido de abelhas européias *Apis mellifera mellifera*, *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera caucásica* e *Apis mellifera carniça* com a abelha africana *Apis mellifera scutellata* [10]. A diferenciação dessas raças não é um processo fácil, podendo ser realizado apenas por especialistas, que podem usar medidas morfológicas ou análise de DNA, no entanto, sabe-se que no Norte do Brasil predominam características das abelhas africanas [10]. Nesse trabalho obteve-se cera proveniente de abelha africanizada semelhante à *Apis mellifera scutellata*. Análises morfológicas e testes de DNA não foram realizados, pois não fizeram parte do objetivo deste trabalho.

Foram coletadas três quantidades de ceras nas entre safras de produção de mel do ano de 2010. A primeira extração foi realizada no mês de fevereiro, com floração predominante (outubro a dezembro de 2009) de *zizipos joazeiro* (juazeiro) e proveniente de favos velhos; a segunda extração foi realizada no mês de março, com floração predominante (janeiro a fevereiro) de *croton sonderianus* (marmeleiro), proveniente de opérculo; e a terceira foi realizada no mês de julho, com floração predominante (março a maio) de *prosopis juliflor* (algaroba), também proveniente de opérculo [12]. A partir deste ponto, adotaremos *cera A*, para cera proveniente da florada de juazeiro, *cera B* para cera da florada de marmeleiro e *cera C* para cera da florada de algaroba. A forma de extração foi o derretimento e a filtragem por peneiras. Não foram encontrados agentes adulterantes, a tabela abaixo apresenta os valores encontrados e os parâmetros para cera de abelha pura.

**Tabela 1.** Procedimentos realizados para detecção de adulterações

Método	Ceras			Parâmetro
	A	B	C	
Densidade (g/mL)	0,94	0,923	0,923	<b>0,92 - 0,947</b>
Saponificação (mg KOH/g)	89,8	84,5	84,7	<b>83,0 - 103</b>
Acidez (mg KOH/g)	23,2	18,3	18,3	<b>17,0 - 24,0</b>
Ésteres(mg KOH/g)	81,6	74,9	74,0	<b>66,0 - 82,0</b>
Ponto de fusão (°C)	65,9	65,2	65,0	<b>61,0 - 66,0</b>
Absorção de Iodo (g I/100g)	9,2	8,2	8,3	<b>7,6 - 10,6</b>
Peróxido (meq O/kg)	0,01	0,00	0,00	---
Teor de cinzas (%)	0,035	0,032	0,036	<b>0,000 -0,055</b>

## 2.2 Aspectos Físicos

**Estado.** O TEC DOC 1151 [27] define que cada instituição deve ter meios para garantir que a qualidade do serviço de radioterapia oferecido se mantenha dentro dos limites admitidos internacionalmente, e que disponha dos mecanismos necessários para corrigir desvios que possam induzir erros ao tratamento.

A qualidade de um feixe de fótons, diz respeito ao seu poder de penetrabilidade [28][29]. Para o documento citado acima, [27] existem testes que devem ser realizados mensalmente como a constância de qualidade do feixe para porcentagem de dose profunda (PDD 20,10) ou razão *phantom* tecido (TPR 20,10) e testes que devem ser realizados diariamente como a constância da dose de referência. Todas essas medidas auxiliam no monitoramento da dose entregue ao paciente e, para serem realizadas, requerem acessórios, como os simuladores. Para este fim, empresas especializadas confeccionam blocos de água sólida com orifícios apropriados para acomodação de dosímetros. As ceras de abelha desse trabalho em temperatura ambiente são sólidas e não permitem flexibilizações, o que se torna uma vantagem para a confecção de blocos como esse. As ceras provenientes de opérculo, isso é, as ceras dos tipos B e C, apresentaram maior facilidade de moldagem, característica que também facilitou a saída dos blocos da forma. A cera do tipo A, proveniente de favos velhos, mostrou-se mais pegajosa que as ceras dos tipos B e C, o que causa dificuldade em seu manuseio.



Para a utilização como bólus, a solidez apresentada nas ceras dos tipos A, B e C em temperatura ambiente se torna um empecilho, pois para esse fim é necessário uma maior maleabilidade, que permita o molde personalizado da superfície e contornos do paciente. Contudo, foi observado que, quando amostras de cera estão a temperaturas acima de 39°C elas apresentam um maior capacidade de deformação plástica. Uma pele saudável suporta a aplicação de cera nessa temperatura (temperatura comum das ceras em procedimentos de depilação), no entanto, quando se trata de bólus, estamos lidando com tratamentos superficiais, geralmente lesões na pele, que por sua vez, já está bastante sensibilizada, inviabilizando a aplicação.

**Degradação por Repetidas Irradiações.** As ceras dos tipos A, B e C não apresentaram nenhum tipo de alteração após a irradiação com 50.000 Gy. Essa dose corresponde a, pelo menos, 25.000 sessões de radioterapia, ou seja, a centenas de tratamentos com radioterapia externa comum. Essa característica viabiliza as ceras para sua utilização em feixes de radiação X.

**Densidade.** Os valores de densidade obtidos estão postos na tabela 1. Os valores de densidade apresentados pelas ceras tipo A, B e C estão bastante próximos do valor da água 1 g/cm<sup>3</sup>, que é o material de referência normalmente empregado em simulações dosimétricas com feixes de megavoltagem empregados em radioterapia, o que caracteriza uma grande vantagem na sua utilização como simulador base. A densidade da cera do tipo A, proveniente de favos velhos, é 6% menor que a da água. Considerando a diferença percentual em relação à densidade da água, as ceras analisadas apresentam diferença percentual máxima de 8%, aproximadamente, que é equivalente a diferença percentual apresentada pela parafina e o acrílico, que são largamente empregados como materiais simuladores.

### 3.2 Aspectos Químicos

**Composição Química.** A tabela 2 apresenta os resultados dos percentuais de composição química obtidos para cada tipo de cera e outros materiais usados como simuladores.

**Tabela 2.** Percentuais de composição química obtidos para cada tipo de cera e outros materiais usados como simuladores.

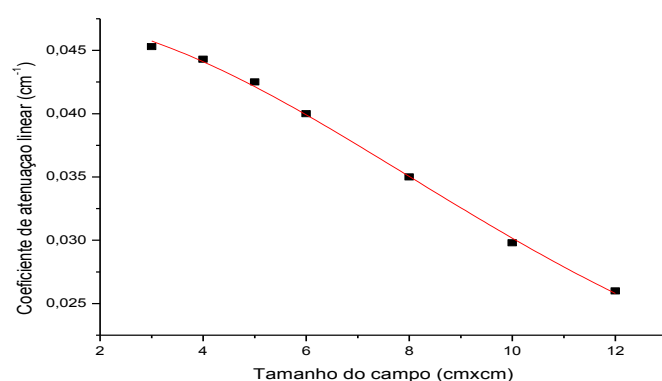
Elementos	Z	Ceras			Parafina	Água	Mix D	Temex
		A	B	C				
H	1	12,99	12,3	12,1	14,9	11,2	13,4	9,6
C	6	80,7	80,0	80,0	85,1	-	77,7	87,0
N	7	1,38	1,36	1,32	-	-	-	0,06
O	8	2	1,99	1,98	-	88,8	3,5	0,47
Na	11	< 3	< 3	< 3	-	-	-	-
Mg	12	< 0,1	-	-	-	-	3,8	-
Al	13	< 1	< 1	< 1	-	-	-	-

<b>Si</b>	<b>14</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	-	-	-	-
<b>P</b>	<b>15</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	-	-	-	-
<b>S</b>	<b>16</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	-	-	-	<b>1,53</b>
<b>K</b>	<b>19</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	-	-	-	-
<b>Ca</b>	<b>20</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	-	-	-	-
<b>Ti</b>	<b>22</b>	-	-	-	-		<b>1,44</b>	<b>0,33</b>
<b>Fe</b>	<b>26</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&lt; 1</b>	-	-	-	-

Os elementos com maiores concentrações nas ceras de abelha são carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Os simuladores que se assemelham com as ceras de abelha quanto à composição são a cera Mix D, a parafina e o Temex, por conta das quantidades de carbono e hidrogênio, respectivamente. A baixa quantidade de oxigênio nas amostras não inviabiliza a utilização das ceras como tecido simulador, pois diversos simuladores, como o Temex e a cera Mix D também apresentam baixa concentração desse elemento. A presença de zinco, cálcio e ferro presente na formulação das ceras de abelha pode compensar a deficiência de oxigênio, assim como, titânio e zinco compensam para o Temex e a cera Mix D.

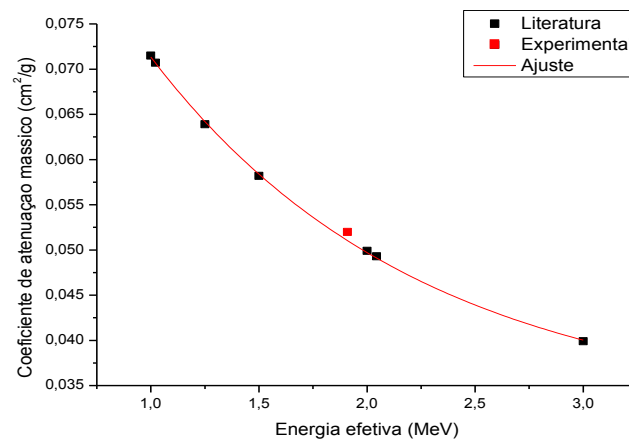
### 3.3 Aspectos Relacionados à Capacidade de Atenuação

**Coefficiente de Atenuação Linear e Mássico.** A figura 3 traz o gráfico dos valores médios de coeficiente de atenuação linear versus tamanho do campo obtido a partir do aparato mostrado na figura 2 para cera tipo B. A partir do campo 3x3 cm<sup>2</sup> foi realizada uma aproximação através de uma função gaussiana, de modo a conhecer o coeficiente de atenuação linear referente a campo zero.



**Fig. 3.** Coeficiente de atenuação linear versus tamanho do campo

O gráfico apresentado na figura 4 mostra a variação da energia efetiva com o coeficiente de atenuação mássico, obtidos a partir dos dados de Hubbel e Seltzer [25] para a cera tipo B.



**Fig. 4.** Coeficiente de atenuação linear versus tamanho do campo para a cera tipo B

O ponto destacado em vermelho no gráfico corresponde ao valor de coeficiente de atenuação mássico obtido durante o experimento realizado. Os valores de coeficiente de atenuação e energia efetiva das demais ceras são apresentados na tabela abaixo.

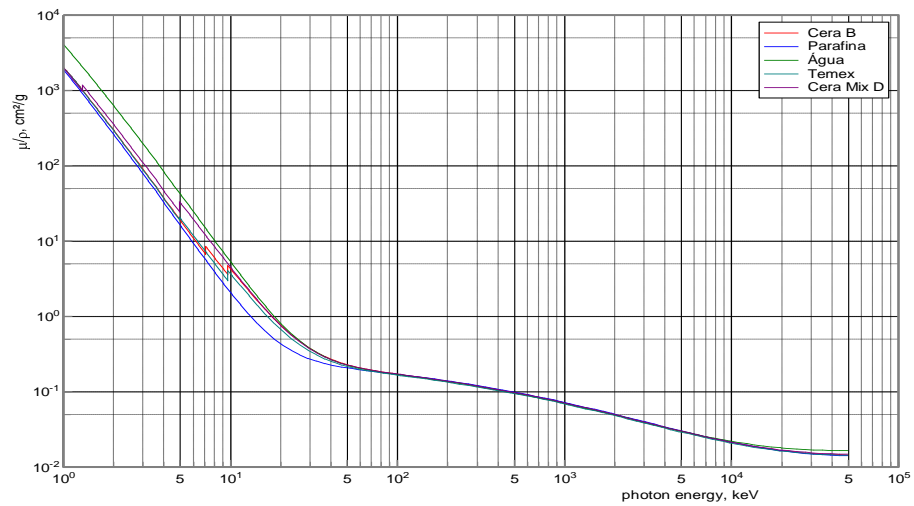
**Tabela 3.** Coeficientes de atenuação e energia efetiva

Cera de abelha	Coeficiente de atenuação Linear $\mu$	Coeficiente de atenuação Mássico $\mu/\rho$	Energia efetiva 6 MV $E_{ef}$
Tipo	cm <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> /g	MeV
A	0,0489 ± 0,0010	0,0520 ± 0,0003	1,93 ± 0,03
B	0,0479 ± 0,0054	0,0520 ± 0,0005	1,94 ± 0,03
C	0,0471 ± 0,0031	0,0510 ± 0,0002	1,89 ± 0,03

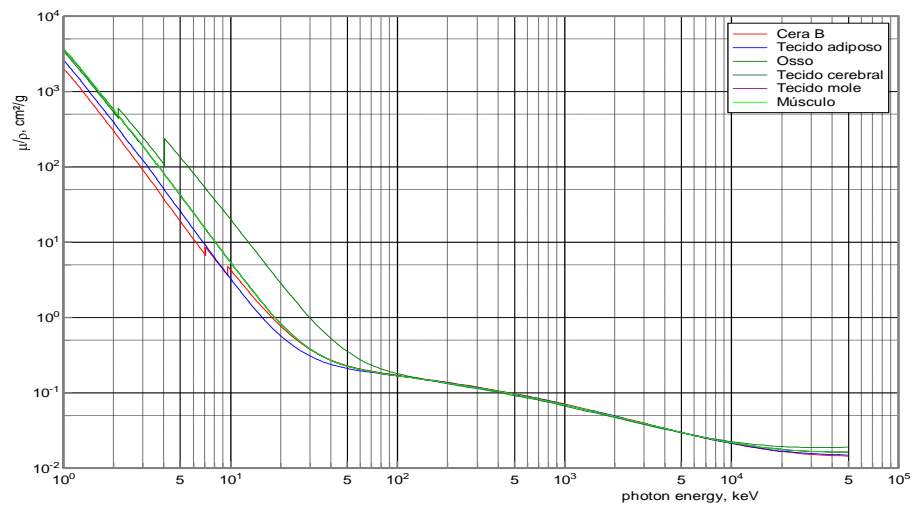
Os valores apresentados na tabela 3 estão de acordo com os obtidos por Robinson e Scrimger [24] para a aproximação monoenergética de um feixe polienergético de 6 MV, o que permite afirmar que as ceras de abelha analisadas atenuam o feixe de forma conveniente e não necessitam de grandes correções químicas se forem empregados como tecido simulador base em radioterapia.

**Comportamento do Coeficiente de Atenuação Mássico Teórico.** As figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as variações dos coeficientes totais de atenuação mássico

da cera de abelha tipo B com relação a outros simuladores e aos principais tecidos do corpo.



**Fig. 4.** Comportamento do coeficiente de atenuação mássico obtido através do programa Xmudat para cera B e outros simuladores



**Fig. 5.** Comportamento do coeficiente de atenuação mássico obtido através do programa Xmudat para cera B e alguns tecidos do corpo

Na faixa de energia terapêutica, isso é, energias acima de 1 MeV todos os materiais, descritos nos gráficos apresentam comportamento semelhante. As ceras tipo A e C também se comportam de maneira análoga.

## **4 Conclusões.**

O modelo de análise proposto por esse trabalho é eficaz e permite afirmar que as ceras de abelha estudadas constituem uma excelente opção para tecido simulador base em radioterapia externa com feixes de fótons de megavoltagem. A sua utilização, é conveniente, e pode baratear drasticamente os produtos relacionados a esse tipo de aplicação. A grande vantagem são as propriedades atenuadoras intrínsecas, dispensando grandes procedimentos de correção química.

### **4.1 Propostas para trabalhos futuros**

Montar um aparato, de modo a medir a porcentagem de dose profunda, isso é, o comportamento da deposição da dose com a profundidade baseado nos protocolos atuais como o TRS 398 [30].

## **Referências**

1. PODGORSK, E.B: Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, Vol.1. IAEA(1957)
2. SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA – SBRT: [on line] [visitado em: 22 de outubro de 2010] <http://www.sbradioterapia.com.br>
3. WHITE D.R: Tissue substitutes in experimental radiation physics. Medical Physics (1978) 467-479
4. WHITE, D.R: The formulation of tissue substitute materials using basic interaction data. Physics in medicine and biology (1977), 22-25
5. WHITE, D. R, CONSTATINO, C: Anthropomorphic phantom materials. The Progress in Medical Radiation Physics. Medical Radiation Physics (1982) 133-193
6. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS: Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement. Report.44(1989)
7. ZOVARO, R: Ceras de abelhas: Produção e beneficiamento, Vol.1. AEP (2007)
8. MARIOTO, D, SCHEIDEGGER, D: Bólus e filtros em cunha feitos com cera de abelha para utilização em radioterapia com <sup>60</sup>Co, Publicações CEFET (2003)
9. TOBLER, M, LEAVIT, D. Design and production of wax compensators for electron treatments of the chest wall. Medical dosimetry. 199-206 (2006)
10. EMBRAPA MEIO-NORTE: [on line] [visitado em: 15 de setembro de 2010] <http://www.embrapa.mn.gov.br>
11. BERNAL, J.L: Physico-chemical parameters for the characterization of pure beeswax and detection of adulterations. European Journal of lipid science and technology, 158-166(2005)
12. SILVA, R.A, AQUINO: Caracterização da flora apícola do semi-árido da Paraíba. Arquivos de Zootecnia, 2-4 (2000)
13. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: Regulamentos técnicos de identidade e qualidade de produtos apícolas, Instrução normativa nº3, Sistema de consulta a legislação – SISLEG (2001)
14. UNITED STATES PHARMACOPEIAL CONVENTION: National Publishing (2000).

15. BRITISH PHARMACOPOEIA COMMISSION SECRETARIAT: HMSO (1993)
16. REAL FARMACOPEA ESPAÑOLA: Ministerio de Sanidad y Consumo (1997)
17. RANGEL, R.N: Práticas de físico-química, Vol 1. Blucher (2006)
18. CASARES, L: Tratado de Analisis Químico, Vol. II. Toledo (1997).
19. MORETTO, E, FETT, R: Óleos e gorduras vegetais (Processamento e análises), Vol 1. Ed.UFSC (1989)
20. FARMACÓPEIA BRASILEIRA: Ministério da Saúde, Atheneu (1988)
21. SERRA, J, GÓMEZ, A: Características físico-químicas de la cera de abejas producida en España. Alimentación, equipos y tecnología. (1989) 213-216
22. ECHLIN, P: Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis. Vol 1. Springer (2009)
23. MONTASER, A: Inductively Coupled Plasmas in Analytical Atomic Spectrometry. Vol 2, VCH Publishers (1988)
24. ROBINSON, D.M, SCRIMGER, J.W: Monoenergetic approximation of a polyenergetic beam: a theoretical approach. The British Journal of Radiology, (1990) 452-454
25. HUBBEL J.H, SELTZER, S.M: Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest. NISTIR 5632 (1995)
26. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA: XmuDat: Photon attenuation data on pc. <http://www-nds.iaea.org/reports/nds-195-htm> (1998)
27. MINISTÉRIO DA SAÚDE: Aspectos Físicos da Garantia de Qualidade em Radioterapia: TEC DOC 115. Publicação, INCA (2000)
28. TURNER, E.J: Atoms, radiation, and radiation protection. 2<sup>a</sup>, Willey (2007)
29. KHAN, F: The physics of radiation therapy. 3<sup>a</sup>, Williams and Wilkins(1994)
30. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA): Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Report Series, IAEA TRS-398 (2000)