

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**

Catherine Costa Oliveira da Silva

**ESTUDO DA TÉCNICA OSL PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
CONDIMENTOS IRRADIADOS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Orientador: Marcus Alexandre Vallim de Alencar

Rio de Janeiro  
2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FÍSICA**

Catherine Costa Oliveira da Silva

**ESTUDO DA TÉCNICA OSL PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
CONDIMENTOS IRRADIADOS.**

Rio de Janeiro, 10 de junho de 2015.

Aprovado por:

---

Dr. Marcus Alexandre Vallim de Alencar - IRD/ CNEN

---

Dr. Marcelo Marques Martins - IRD/CNEN

---

Dr. Odair Dias Gonçalves - IF/UFRJ

Silva, Catherine Costa Oliveira da

Uso da Técnica OSL para Identificação de Alimentos Irrradiados como Condimentos e Especiarias. xiii, 64 p, il; 29,7 cm.

Orientador: Marcus Alexandre Vallim de Alencar

Monografia (Bacharelado em Física Médica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, 2015.

1. Dosimetria    2. Luminescência Opticamente Estimulada.
3. Alimentos Irrradiados - Monografia

I-        Silva, Catherine Costa Oliveira da

II-       Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela oportunidade, por todos os benefícios que me tem feito, por ter sido minha força nas adversidades e minha esperança em cada novo amanhecer. Toda honra e glória sejam dadas a Ele.

Agradeço aos meus pais, Lidia e Orlando, pelo amor, carinho, apoio em todos os momentos. Vocês são meus exemplos de vida. Obrigada por terem me proporcionado a oportunidade de me dedicar aos meus estudos, jamais conseguirei retribuir tudo o que vocês fizeram por mim. Mãe, eu sinto muito que você tenha partido durante a minha graduação, mas sei que você estaria muito feliz.

À Caroline, minha irmã linda, inteligente e minha melhor amiga, pelo apoio e pelos momentos de alegria. Agradeço a minha vó Rachel.

Ao meu orientador, Marcus Vallim, pela oportunidade, compreensão e ajuda durante o trabalho.

Ao Laboratório de Instrumentação Nuclear da COPPE/UFRJ, pelas irradiações das amostras. Aos técnicos do laboratório Sandro e Carlos Augusto pela disponibilidade e prestatividade.

Aos meus amigos de faculdade: Geisa, Luiz Felipe e William. Vocês foram umas das melhores coisas da UFRJ pra mim. Eu agradeço muito a Deus por ter conhecido vocês.

Aos professores que contribuíram com a minha formação, me dando conselhos e ensinamentos.

A todos que contribuíram de alguma forma com a realização deste trabalho.

## RESUMO

O uso da radiação ionizante na conservação de alimentos é considerado uma técnica bem estabelecida, e por isso muitos países, inclusive o Brasil, passaram a permitir o uso de alimentos irradiados. A ANVISA, através da resolução RDC nº 21 estabelece que qualquer alimento pode ser irradiado respeitando os limites de doses, e que qualquer alimento irradiado deve ser rotulado adequadamente. Assim, é necessária a existência de métodos adequados para identificar se os alimentos foram irradiados ou não, e estimar a dose aplicada ao alimento. Muitos métodos são testados para a dosimetria e identificação de alimentos irradiados, porém nenhum método foi aceito internacionalmente como aplicável a todos os tipos de alimentos. A técnica de Luminescência Opticamente Estimulada (OSL) apresenta uma vantagem sobre os outros métodos mencionados: as amostras podem ser utilizadas sem a necessidade de um processamento prévio. Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades OSL de condimentos e especiarias irradiadas, verificando a possibilidade da aplicação da técnica OSL na identificação e dosimetria de alimentos irradiados. Foram utilizadas amostras de oito tipos de condimentos: coentro, cominho, erva-doce, gengibre, louro em pó, orégano, pimenta branca e pimenta preta. Todas as amostras foram submetidas radiação gama de uma fonte de Co-60 e com valores de dose entre 250 Gy e 10 kGy. As medições dos sinais OSL foram obtidas através do leitor RISØ TL/OSL-DA-15B usando luz de estimulação azul, em modo contínuo e tempo de aquisição de 20 segundos. As amostras de louro em pó, pimenta branca e pimenta preta não apresentam sinal OSL. O cominho, a erva-doce, o gengibre e o orégano já apresentam sinal OSL na dose de 250 Gy, enquanto que para o coentro, o sinal OSL é observado a partir da dose de 5 kGy. Os resultados obtidos mostram que a técnica OSL pode ser utilizada como um método para identificar a irradiação destes condimentos e também para estimar a dose usada (dosimetria), desde que seja conhecido o intervalo de tempo entre a irradiação e a medição.

## ABSTRACT

The use of ionizing radiation in food preservation is considered a well-established technique and therefore many countries, including Brazil, have allowed the use of irradiated foods. The ANVISA, through Resolution RDC No. 21 provides that any food can be irradiated within the limits of doses, and that any irradiated food must be labeled properly. The ANVISA (National Agency for Sanitary Vigilance in Brazil) establishes that any food can be irradiated since that observed the minimum and maximum doses applied and that any irradiated food should be properly labeled. Thus, it is necessary the existence of suitable methods to identify whether a food has been irradiated or not, and to estimate the dose applied to the food. Many methods have been tested for the identification and dosimetry of irradiated foods, however, no method has been accepted internationally as applicable to all types of food. The technique of optically stimulated luminescence (OSL) presents an advantage over other methods mentioned: The samples may be used without the need for a prior processing. This work aims to study the OSL properties of condiments and spices irradiated, in order to verify the possibility of the application of the OSL technique in identifying and dosimetry of irradiated foods. The samples used were of eight kinds of spices: coriander, cumin, fennel, ginger, bay leaf powder, oregano, white pepper and black pepper. All samples were subjected to gamma irradiation from a Co-60 source and air kerma doses of 250 Gy to 10 kGy. The measurements of OSL signals were performed by a RISØ TL/OSL-DA-15B reader using blue light as stimulus in continuous mode and with a lighting time/acquisition of 20 s. The samples of bay leaf powder, white pepper and black pepper do not present the OSL signal. Cumin, fennel, ginger and oregano already have OSL signal at dose of 250 Gy, while for coriander, OSL signal is seen from 5 kGy. The results show that the OSL technique can be used as a method to identify the irradiation of these condiments and to estimate the dose used (dosimetry).

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Apresentação.....	1
1.2 - Objetivos.....	2
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 - Irradiação de Alimentos .....	3
2.1.1 - Valores de Doses Utilizadas na Irradiação de Alimentos .....	7
2.1.1.1 - Dose Absorvida .....	7
2.1.1.2 - Limites de Doses .....	7
2.1.2 - O Irradiador de Alimentos .....	10
2.2 - O Detector de Alimentos Irrradiados .....	11
2.3 - Luminescência Opticamente Estimulada .....	14
2.3.1 - OSL de Onda Contínua .....	17
2.3.2 - Vantagens e Desvantagens.....	18
2.3.3 - Aplicações da Técnica OSL.....	19
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 - Obtenção e Preparação das Amostras .....	20
3.2 - Irradiações das Amostras .....	20
3.3 - Preparação das Amostras.....	21
3.3.1 - Amostras para estudo da intensidade do sinal OSL versus a Dose Absorvida .....	21
3.3.2 - Amostras para estudo da intensidade do sinal OSL versus a massa da Amostra .....	23

3.3.3 - Amostras para estudo do desvanecimento do Sinal OSL ("Fading").....	23
3.4 - Medição do Sinal OSL .....	24
3.4.1 - Sistema Leitor OSL .....	24
3.4.2 - Parâmetros Utilizados na Medição .....	26
3.4.3 - Software para Análise de Dados .....	27
3.4.4 - Incertezas associadas às medições .....	28
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29
4.1 - Intensidade do Sinal OSL .....	29
4.2 - Intensidade do Sinal OSL versus a Dose Absorvida.....	34
4.3 - Intensidade do Sinal OSL versus a Massa da Amostra .....	40
4.4 - Desvanecimento do Sinal OSL (Fading).....	44
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	50
5.1 - Conclusões .....	50
5.2 - Sugestões para trabalhos futuros .....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO - RESOLUÇÃO ANVISA RDC N° 21 DE 26 DE JANEIRO DE 2001 ..	58



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: A irradiação utilizada como uma forma de inibir a maturação em frutas (CENA/USP, 2005).....	4
Figura 2.2: Símbolo internacional do uso de radiação ionizante: a Radura .....	5
Figura 2.3: Diagrama esquemático de uma instalação de irradiação (IAEA – TRS 409, 2002).....	10
Figura 2.4: Representação esquemática dos dois estágios de processo de Luminescência Opticamente Estimulada .....	15
Figura 2.5: Representação esquemática do processo da Luminescência Opticamente Estimulada .....	16
Figura 2.6: a) Resposta OSL de onda contínua para $Al_2O_3:C$ e, b) estímulo OSL de Onda Contínua (CW OSL) (Nascimento, 2007) .....	17
Figura 3.1: Irradiador Gammacell 220 da Nordion. (Almeida, 2009) .....	21
Figura 3.2: Pastilha de condimento feita no Laboratório de Dosimetria OSL ...	22
Figura 3.3: Triturador utilizado para fazer as pastilhas.....	22
Figura 3.4: Laboratório de Dosimetria OSL do IRD.....	25
Figura 3.5: Esquema do Leitor RISØ TL/OSL (DTU Nutech, 2014) .....	26
Figura 3.6: Programa Analyst versão 3.04b .....	27
Figura 4.1: Curva OSL para o coentro nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy ...	30
Figura 4.2: Curva OSL para o cominho nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy ..	30
Figura 4.3: Curva OSL para a erva-doce nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy .....	31
Figura 4.4: Curva OSL para o gengibre nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy..	31
Figura 4.5: Curva OSL para o louro em pó nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy .....	32
Figura 4.6: Curva OSL para o orégano nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy ...	32

Figura 4.7: Curva OSL para o pimenta branca nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy .....	33
Figura 4.8: Curva OSL para o pimenta preta nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy .....	33
Figura 4.9: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no coentro .....	37
Figura 4.10: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no cominho.....	38
Figura 4.11: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama na erva-doce .....	38
Figura 4.12: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no gengibre .....	39
Figura 4.13: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no orégano .....	39
Figura 4.14: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama em condimentos e especiarias .....	40
Figura 4.15: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o cominho.....	42
Figura 4.16: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o gengibre .....	42
Figura 4.17: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o orégano .....	43
Figura 4.18: Desvanecimento para o coentro.....	47
Figura 4.19: Desvanecimento para o cominho .....	47
Figura 4.20: Desvanecimento para a erva-doce.....	48
Figura 4.21: Desvanecimento para o gengibre.....	48
Figura 4.22: Desvanecimento para o orégano .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tempo de vida útil de alimentos tratados por irradiação e não irradiados (LIARE – CENA/USP).....	5
Tabela 2.2: Limites de Doses (IAEA – TRS 409, 2002) .....	8
Tabela 2.3: Normas europeias para detecção do alimento irradiado .....	14
Tabela 3.1: Massas dos condimentos utilizadas paraa formação da pastilha..	22
Tabela 3.2: Massas das amostras utilizadas.....	23
Tabela 3.3: Massas dos condimentos utilizadas para o estudo do desvanecimento .....	24
Tabela 4.1: Valores de BG .....	34
Tabela 4.2: Resultados obtidos para o coentro em relação à dose absorvida .	35
Tabela 4.3: Resultados obtidos para o cominho em relação à dose absorvida.....	35
Tabela 4.4: Resultados obtidos para a erva-doce em relação à dose absorvida .....	36
Tabela 4.5: Resultados obtidos para o gengibre em relação à dose absorvida.....	36
Tabela 4.6: Resultados obtidos para o orégano em relação à dose absorvida.....	37
Tabela 4.7: Resultados obtidos com a variação da massa do condimento cominho.....	41
Tabela 4.8: Resultados obtidos com a variação da massa do condimento gengibre .....	41
Tabela 4.9: Resultados obtidos coma variação da massa do condimento orégano .....	41
Tabela 4.10: Valores de R <sup>2</sup> encontrados.....	44

Tabela 4.11: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal OSL do coentro .....	44
Tabela 4.12: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal OSL do cominho.....	45
Tabela 4.13: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal OSL da erva - doce .....	45
Tabela 4.14: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal OSL do gengibre .....	46
Tabela 4.15: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal OSL do orégano.....	46

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- APC - Contagem Padrão em Placas
- CEN - Comitê Europeu de Padronização
- CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura
- COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
- DEFT - Técnica de Epifluorescência Direta em Filtro
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
- IAEA - Agência Internacional de Energia Atômica
- ICGFI - Grupo Consultivo Internacional em Irradiação de Alimentos
- ICRU - Comissão Internacional em Unidades de Radiação
- IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria
- LIARE - Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia
- LIN- Laboratório de Instrumentação Nuclear
- OMS - Organização Mundial de Saúde
- OSL - Luminescência Opticamente Estimulada
- PMT - Tubo fotomultiplicador
- RPE - Ressonância Paramagnética Eletrônica
- TL- Termoluminescência
- UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- USP - Universidade de São Paulo

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 - Apresentação**

Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Konrad Roentgen. Logo após, MINCK (1896) e LIEBER (1905) sugeriram o uso de radiações ionizantes para destruir micro-organismos em alimentos. Em 1947, dois investigadores, BRASCH & HUBER, co-inventores de um acelerador de elétrons, citaram a possibilidade de utilizar elétrons para irradiar carnes, ovos, leites e utensílios de uso comum (CALDERON, 1999).

Hoje, a utilização da radiação ionizante na conservação de alimentos é considerada uma técnica bem estabelecida e por isso muitos países, inclusive o Brasil, passaram a permitir o uso de alimentos irradiados. A irradiação comercial de alimentos está autorizada no Brasil desde 1973, e não há restrição dos alimentos que possam ser irradiados.

A exposição do alimento à radiação, dependendo do produto e da dose empregada, inibe o brotamento, retarda o amadurecimento e destrói ou reduz, para níveis aceitáveis, micro-organismos e insetos que deterioram o produto e podem provocar doenças.

Em doses e condições adequadas de radiação, todos os alimentos podem ser irradiados, desde grãos até aqueles com alto teor proteico. A irradiação de alimentos deve ser acompanhada por um rigoroso controle do processo de irradiação. O objetivo principal deste controle é assegurar que a dose absorvida pelo alimento seja adequada para que ocorra o efeito desejado, doses menores não fornecerão o efeito desejado e doses maiores podem alterar as características do alimento; além de garantir, quando for o caso, que não ultrapasse os limites de dose estabelecidos por lei.

A detecção do tratamento, isto é, a possibilidade de identificar se um alimento foi irradiado ou não e as investigações das mudanças induzidas no alimento devido à irradiação são de extrema importância no controle da

segurança dos produtos alimentícios (COUTO E SANTIAGO, 2010). Portanto, é necessária a existência de métodos adequados que permitam identificar se os alimentos foram irradiados ou não.

Muitos métodos são testados para a identificação e dosimetria de alimentos irradiados entre os quais a termoluminescência, a ressonância paramagnética eletrônica, e outros baseados em alterações microbiológicas e na viscosidade, todas necessitando de um processamento das amostras. Por enquanto, nenhum método foi aceito a nível internacional como sendo aplicável para todos os alimentos irradiados (CHAUHAN *et. al.*, 2009; STEFANOVA, *et al.*, 2010; MANGIACOTTI *et al.*, 2013).

A técnica de dosimetria por Luminescência Opticamente Estimulada (OSL) pode ser uma alternativa aos outros métodos, principalmente por apresentar a vantagem das amostras de alimentos não necessitarem de um processamento prévio para serem analisadas.

## **1.2 - Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo estudar a possibilidade da aplicação da técnica OSL para identificar alguns alimentos previamente irradiados, como especiarias e condimentos. A técnica OSL é aplicada diretamente nos condimentos e especiarias, sem a utilização de qualquer tratamento das amostras, como por exemplo, o processo de separação do conteúdo polimineral dos alimentos examinados, ou a incorporação de dosímetros OSLs aos alimentos.

As propriedades da técnica OSL estudadas foram: a intensidade do sinal versus a dose absorvida (linearidade), a intensidade do sinal OSL versus a massa da amostra e o desvanecimento do sinal OSL (“fading”), isto é, perda do sinal OSL com o tempo de armazenamento.

## **CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 - Irradiação de Alimentos**

Existem diversos métodos utilizados para a conservação de alimentos. Os mais utilizados são: congelamento, secagem, preparação de conservas, pasteurização, fumigação química; a aplicação de aditivos preservantes e o armazenamento em atmosfera controlada (SILVA JUNIOR, 2002).

A irradiação tem se mostrado uma técnica alternativa eficiente tanto na conservação de alimentos, por reduzir as perdas naturais causadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento), quanto na eliminação ou redução de microrganismos, parasitas e pragas, sem causar prejuízo ao alimento, tornando-os também mais seguro ao consumidor. (CENA/USP, 2005). A irradiação pode ser empregada isolada ou combinada a outros métodos de preservação (COSTA, 1976).

A irradiação de alimentos é o tratamento de alimentos com radiação ionizante. O processo consiste em submetê-los, embalados ou a granel, a uma quantidade minuciosamente controlada dessa radiação, por um tempo prefixado e com objetivos bem determinados. A irradiação pode impedir a multiplicação de micro-organismos que causam a deterioração do alimento, tais como bactérias e fungos, pela alteração de sua estrutura molecular, como também inibir a maturação de algumas frutas e legumes (Figura 2.1), através de alterações no processo fisiológico dos tecidos do vegetal (CENA/USP, 2005).

Os alimentos secos, como condimentos, são um dos que mais se beneficiaram com o uso do método de irradiação. Os condimentos são contaminados por numerosos micro-organismos, por exemplo, organismos anaeróbicos que provocam deterioração, bactérias formadoras de esporos, leveduras e fungos, que degradam a sua qualidade higiênica e a dos produtos onde são introduzidas. Durante muito tempo, o método mais utilizado de descontaminação de ingredientes secos foi a fumigação com óxido de etileno.



Porém, o óxido de etileno é considerado como carcinogênico humano e seu nível no meio ambiente deve ser mantido mínimo (BERNARDES, 1996).



**Figura 2.1: A Irradiação utilizada como uma forma de inibir a maturação em frutas (CENA/USP, 2005)**

A tabela 2.1 apresenta exemplos de como o tratamento com radiação ionizante pode prolongar o tempo de vida útil dos alimentos. Os dados foram obtidos no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia (LIARE - CENA/USP).

No Brasil, os requisitos gerais para uso da irradiação de alimentos são estabelecidos pela resolução RDC nº 21 de 26 de Janeiro de 2001 da ANVISA, ver em anexo. Uma de suas determinações é que na rotulagem dos alimentos que foram submetidos ao processo de irradiação, deve constar a identificação: "ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO". Além disso, quando um produto irradiado é utilizado como ingrediente em outro alimento, esta identificação deve estar presente na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do mesmo.

A ANVISA deixa como opcional a inclusão do símbolo internacional do uso de radiação ionizante, a Radura (Figura 2.2).

**Tabela 2.1: Tempo de vida útil de alimentos tratados por irradiação e não irradiados (LIARE - CENA/USP)**

<b>Produto</b>	<b>Vida útil sem irradiação</b>	<b>Vida útil com irradiação</b>
<b>Alho</b>	4 meses	10 meses
<b>Arroz</b>	1 ano	3 anos
<b>Banana</b>	15 dias	45 dias
<b>Batata</b>	1 mês	6 meses
<b>Cebola</b>	2 meses	6 meses
<b>Farinha</b>	6 meses	2 anos
<b>Legumes e Verduras</b>	5 dias	18 dias
<b>Papaia</b>	7 dias	21 dias
<b>Manga</b>	7 dias	21 dias
<b>Milho</b>	1 ano	3 anos
<b>Frango refrigerado</b>	7 dias	30 dias
<b>Filé de pescada refrigerado</b>	5 dias	30 dias
<b>Morango</b>	3 dias	21 dias
<b>Trigo</b>	1 ano	3 anos



**Figura 2.2: Símbolo internacional do uso de radiação ionizante: a Radura**

Muitos aspectos do processamento de alimentos são estritamente regulados por causa da preocupação dos consumidores com a aplicação correta dos processos permitidos. O processo de irradiar alimentos não é uma exceção. A fim de estabelecer a confiança em todo o processo, várias organizações nacionais e internacionais desenvolveram recomendações, normas e orientações pertinentes (IAEA – TRS 409, 2002).

Entre 1965 e 1970, foi criada uma comissão conjunta de peritos em irradiação de alimentos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) em acordo com a Food and Agricultural Organization (FAO) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), formaram o Joint FAO/IAEA/OMS Expert Committee on Wholesomeness of Irradiated Food (ICGFI) destinada a avaliar a quantidade e segurança dos alimentos irradiados (ALMEIDA, 2006).

A Comissão do *Codex Alimentarius* executa o Programa Conjunto da FAO/OMS sobre normas alimentares, cujo objetivo é proteger a saúde dos consumidores e garantir práticas corretas no comércio de alimentos. A comissão do *Codex Alimentarius* é um órgão conjunto da FAO e da OMS que representa mais de 130 países.

Para alimentos irradiados, os padrões gerais do *Codex Alimentarius* estabelecem os principais requisitos. No entanto, os detalhes técnicos são cobertos por outras organizações, como o ICGFI, que desenvolveu orientações para boas práticas de irradiação. De acordo com a OMS, as regras do *Codex Alimentarius* tornaram-se o referencial técnico para as exigências de qualidade no comércio internacional de alimentos (IAEA -TRS 409, 2002).

## 2.1.1-Valores de Doses Utilizadas na Irradiação de Alimentos

### 2.1.1.1 - Dose Absorvida

No processo de irradiação, a principal grandeza utilizada é a dose absorvida (IAEA - TRS 409, 2002).

A dose absorvida é definida como o quociente de  $d\bar{\epsilon}$  por  $dm$ , onde  $d\bar{\epsilon}$  é a energia média depositada pela radiação ionizante na matéria de massa  $dm$  (ICRU - REPORT 85, 2011):

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (\text{J/ Kg} = \text{Gy}) \quad (2.1)$$

A unidade no SI de dose absorvida é Gray (Gy), que representa a quantidade de radiação correspondente a absorção de 1 Joule de energia por kilograma.

### 2.1.1.2 - Limites de Doses

Inicialmente, nas décadas de 50 e 60, a irradiação foi empregada visando a morte dos insetos que infestam comumente os alimentos. Posteriormente, o tratamento com a irradiação teve outros objetivos, como a esterilização dos mesmos, a inibição da germinação, entre outros (COSTA, 1976).

A irradiação produz modificações químicas e biológicas, dependendo das doses utilizadas (COSTA, 1976). A aplicação da radiação ionizante em produtos alimentícios nas doses recomendadas resulta em pequenas modificações químicas, frequentemente imperceptíveis por métodos químicos convencionais (BERNARDES, 1996).

Os limites de dose para a irradiação de alimentos são recomendados pelo ICGFI e estão descritos na tabela 2.2.

**Tabela 2.2 - Limites de Doses (IAEA - TRS 409, 2002)**

<b>Classes de Alimentos</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Dose Máxima (kGy)</b>
<b>Classe 1: Bulbos, raízes e tubérculos</b>	Inibir a germinação durante a estocagem	0,2
	Retardar a maturação	1,0
<b>Classe 2: Frutas frescas e vegetais</b>	Desinfestação de insetos	1,0
	Extensão da vida útil	2,5
	Controle de quarentena	1,0
<b>Classe 3: Cereais e grãos, frutas secas, nozes, leguminosas, sementes oleaginosas</b>	Desinfestação de insetos	1,0
	Redução de micro - organismos	5,0
<b>Classe 4: Peixes, frutos do mar (frescos ou congelados)</b>	Redução de certos micro-organismos patogênicos	5,0
	Extensão da vida útil	3,0
	Controle da contaminação por parasitas	2,0
<b>Classe 5: Carnes de aves cruas</b>	Redução de micro-organismos patogênicos	7,0
	Extensão da vida útil	3,0
	Controle da contaminação por parasitas	2,0
<b>Classe 6: Legumes secos, especiarias, condimentos, alimentos para animais, ervas secas e chá de ervas</b>	Redução de micro-organismos patogênicos	10,0
	Desinfestação de insetos	1,0
<b>Classe 7: Alimentos secos de origem animal</b>	Desinfestação	1,0
	Controle do mofo	3,0
<b>Classe 8: Alimentos variados incluindo mel, dietas hospitalares, etc</b>	Redução de micro-organismos	
	Esterilização	>10,0
	Controle de quarentena	

Os processos de radiação comumente empregados na irradiação de alimentos podem ser classificados segundo os níveis de doses (IAEA – TRS 409, 2002; BERNARDES, 1996):

- **Níveis baixos de doses (10 Gy - 1 kGy):** o brotamento de batatas, cebolas, alho, cebolinha e de outros produtos podem ser inibidos pelo tratamento por irradiação nas doses de 20 - 150 Gy. A radiação afeta as propriedades biológicas de tais produtos, de tal forma que a germinação é diminuída ou completamente inibida. Os processos fisiológicos como o amadurecimento de frutas podem ser retardados se forem usadas doses na faixa de 0,1 - 1 kGy. A desinfestação de insetos por radiação nas doses entre 0,2 - 1 kGy visa a prevenção de perdas causadas por pragas de insetos em grãos armazenados, leguminosas, cereais, farinhas, café, feijão, especiarias, frutas secas, nozes secas, produtos da pesca secos e outros alimentos secos. A dose de cerca de 150 Gy garante a segurança de quarentena contra várias espécies de moscas em frutas e vegetais frescos, e uma dose de 300 Gy impede a infestação de insetos de outras espécies.

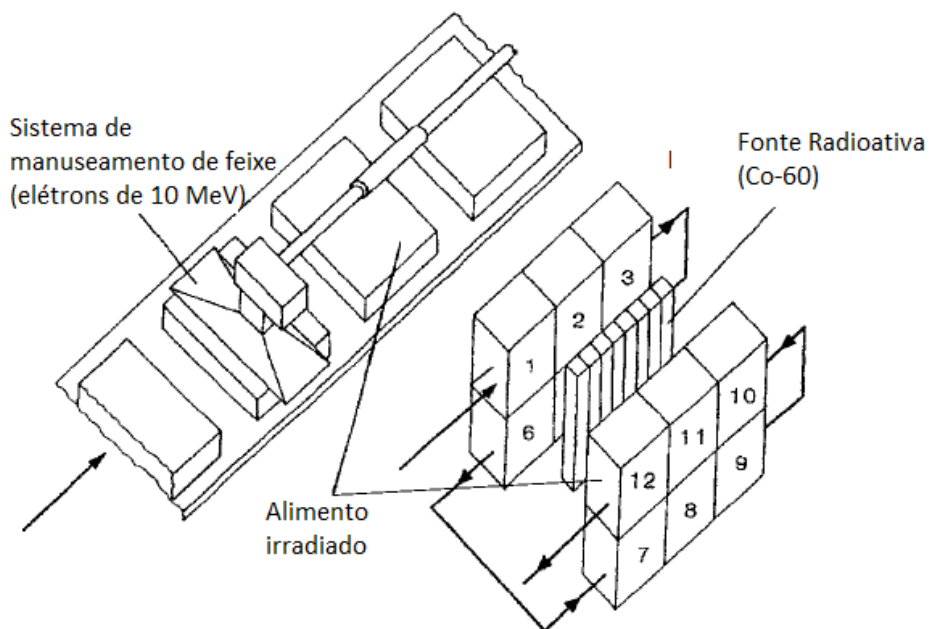
- **Níveis médios de doses (1 - 10 kGy):** a irradiação do alimento nesta faixa de dose diminui a carga de micro-organismos, aumentando a conservação do alimento e evitando sua decomposição. Carnes frescas e frutos do mar, bem como frutas e legumes, podem ser expostos a este tipo de tratamento, que é denominado de radurização. Outro processo que utiliza doses de radiação de nível médio é o processo de radiciação, que consiste na aplicação de radiação ionizante a uma dose suficiente para reduzir o número de bactérias não formadoras de esporos a um nível não detectável por qualquer método bacteriológico de identificação.

- **Níveis altos de doses (10 - 100 kGy):** a irradiação nas doses de 10 - 30 kGy é uma alternativa eficaz ao processo de fumigação com óxido de etileno para a descontaminação microbiana de ervas secas, especiarias e outros alimentos desidratados. O processo de esterilização por radiação nas doses de 25 - 70 kGy, denominado de radapertização, prolonga a vida de

prateleira de alimentos pré-cozidos. Este efeito é conseguido através da redução do número de todos os organismos que causam a deterioração de alimentos.

### 2.1.2 - O Irradiador de Alimentos

O uso comercial da radiação gama é limitado pelo alto custo e tamanho do equipamento necessário ao tratamento (CENA/USP, 2007). O projeto e a construção de um irradiador de alimentos são considerações importantes no tratamento do produto, uma vez que afetam a distribuição da dose no produto e no intervalo de doses atingível (IAEA - TRS 409, 2002). O diagrama esquemático de um irradiador de alimentos está representado na figura 2.3. Para uma instalação que utiliza aceleradores de elétrons, as embalagens contendo os alimentos são introduzidas um de cada vez no campo de radiação. Para uma instalação com uma fonte radioativa, várias embalagens podem rodear a fonte e assim irradiadas em conjunto.



**Figura 2.3: Diagrama esquemático de uma instalação de irradiação. (IAEA - TRS 409, 2002)**

Para a irradiação de alimentos, fontes de alta taxa de dose são utilizadas. Os tipos de radiações e energias a serem utilizadas no tratamento de alimentos são raios gamas de Co-60 ou Cs-137 com energias médias de 1,25 MeV e 0,66 MeV, respectivamente, raios X com energia máxima de 5 MeV e feixes de elétrons com energia máxima de 10 MeV. A escolha destas fontes se deve às seguintes características: o fato delas produzirem os efeitos desejáveis, os valores de energia não induzirem radioatividade nos alimentos ou nos materiais de embalagem, e estarem disponíveis em quantidades e em custos que permitem o uso comercial do processo (BERNARDES, 1996).

Para cada tipo de alimento e de tratamento é definida uma dose média ou máxima apropriada de radiação (BERNARDES, 1996). As radiações  $\gamma$  e X tem maior poder de penetração e são utilizadas na irradiação de produtos de grande espessura. Os elétrons, que possuem pequena penetração, são utilizados para a irradiação superficial de alimentos ou para produtos a granel, em camadas de fina espessura. Os irradiadores com fontes de Co-60 são os mais utilizados, atualmente, para o processamento de alimentos.

## **2.2 - O Detector de Alimentos Irradiados**

Em 1986 a OMS concluiu que “como os regulamentos nacionais diferem uns dos outros, é importante garantir o controle adequado dos alimentos no comércio internacional. Algumas autoridades nacionais desejam garantir que os alimentos irradiados estão devidamente rotulados. Um método confiável para identificar os alimentos tratados seria muito útil” (IAEA - TRS 409, 2002).

O desenvolvimento de métodos de identificação de alimentos irradiados permite: controlar a dose absorvida, evitar a re-irradiação, verificar o cumprimento dos níveis mínimos de exigência microbiológica, além de contribuir para o controle do mercado internacional de alimentos irradiados (ALMEIDA, 2006).



Embora o controle administrativo mantido por acordos internacionais forneça um método confiável de controle de alimentos irradiados, a análise do próprio alimento para determinar se ele foi irradiado ou não é desejável, especialmente para alimentos importados ou alimentos vendidos no varejo (IAEA-TECDOC-587, 1991).

Além disso, mesmo que os alimentos irradiados corretamente sejam seguros e saudáveis, o consumidor deve ser capaz de fazer sua própria escolha entre o alimento irradiado e o não irradiado. Portanto, deve haver evidências para estes consumidores de que os governos são capazes de controlar e rotular corretamente alimentos irradiados (IAEA - TECDOC 587, 1991).

A existência de métodos para a identificação de alimentos irradiados é útil para provarse os regulamentos de rotulagem estão sendo cumpridos. Um fornecedor pode anexar etiquetas de identificação em alimentos como sendo irradiados, mesmo não tendo sido tratados com radiação, ou retirar-las caso o alimento tenha sido irradiado, conforme a aceitação do mercado (IAEA - TECDOC 587, 1991).

Em resumo, pode-se concluir que existem três razões principais para o desenvolvimento de métodos de identificação irradiação de alimentos (IAEA - TECDOC 587, 1991):

1. Para fortalecer as regulamentações nacionais sobre a irradiação de alimentos específicos;
2. Para impor a rotulagem dos alimentos irradiados;
3. Para aumentar a confiança dos consumidores na regulação.

Segundo o IAEA - TECDOC-587 (1991) um método de identificação deve atender os requisitos abaixo:

- a) A resposta do método deve ser específica para a irradiação e não induzida por técnicas de processamento.
- b) O método deve ser confiável.

- c) O método deve ser rápido.
- d) O método deve ser barato e não envolver o uso de instrumentos complicados e caros.
- e) O método deve ser fácil de realizar.
- f) O método deve necessitar de pequenas quantidades de alimentos.
- g) A sensibilidade e a faixa de medição do método devem permitir a identificação de uma grande faixa de dose de radiação absorvida.
- h) O método precisa ser universalmente aplicável para todos os tipos de alimentos.
- i) O método deve permitir estimar a dose absorvida no alimento.
- j) O método deve permitir a identificação dos ingredientes irradiados em alimentos compostos.

Porém, na prática estes requisitos não podem ser facilmente alcançados. As mudanças que ocorrem nos alimentos como resultado da radiação são, em muitos casos, semelhantes às alterações que podem ocorrer em alimentos tratados por outros métodos de conservação. Por isso, é difícil identificar exclusivamente o processo de irradiação. Além disso, apesar de inúmeras pesquisas serem realizadas, ainda não foi encontrado nenhum método geral aplicável a todos os tipos de alimentos (IAEA - TECDOC 587, 1991).

Na Europa, devido às atividades do Comitê Europeu de Padronização (CEN), vários métodos de detecção foram validados e padronizados (divididos em métodos físicos, químicos e biológicos) para um grande número de produtos. Na tabela 2.3, estão listadas as normas europeias contendo os métodos recomendados para cada grupo de alimentos. Para os métodos físicos temos a Espectroscopia de RPE, a técnica TL e a Luminescência Fotoestimulada. Entre os métodos químicos temos a cromatografia e a eletroforese da célula, e para os métodos biológicos temos a técnica de epifluorescência direta em filtro (DEFT) e a contagem padrão em placas (APC) (ALMEIDA, 2006).

**Tabela 2.3: Normas europeias para detecção do alimento irradiado**

<b>Normas</b>	<b>Método</b>	<b>Produtos</b>
<b>EN 1784</b>	Análise por cromatografia de gás (GC) de hidrocarbonetos	Galinha, carne de porco e carne de boi, abacate, mangas e mamões
<b>EN 1785</b>	Análise por cromatografia de gás (GC)/ espectrometria de massa (MS) de 2-alquiciclobunatos	Galinha, carne de porco e ovo
<b>EN 1786</b>	Espectroscopia de RPE para ossos	Galinha, peixe e pernas de rã
<b>EN 1787</b>	Espectroscopia de RPE para celulose	Páprica e morangos
<b>EN 1788</b>	Termoluminescência (TL) para minerais de silicatos	Ervas e especiarias, camarões, vegetais e batatas
<b>EN 13708</b>	Espectroscopia de RPE para açúcar cristalino	Mamão, manga e figo secos, passas.
<b>EN 13751</b>	Luminescência Fotoestimulada	Ervas e especiarias, molusco.
<b>EN 13783</b>	DEFT/APC	Ervas e especiarias.
<b>EN 13784</b>	Eletroforese da célula (DNA cometassay)	Galinha, carne de porco

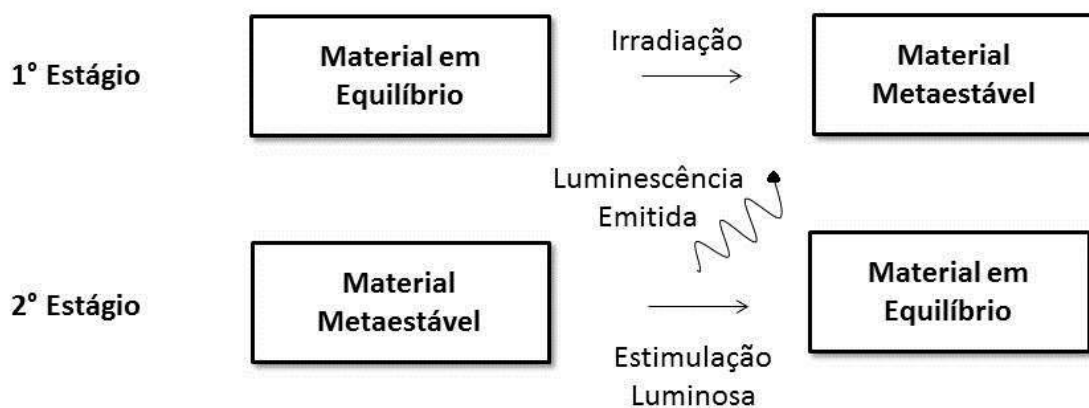
### **2.3 - Luminescência Opticamente Estimulada**

A Luminescência Opticamente Estimulada (OSL – Optically Stimulated Luminescence) é a emissão de luz por um dado material cristalino isolante ou semicondutor previamente irradiado quando estimulado por luz com comprimento de onda apropriado.

A Luminescência Opticamente Estimulada é explicada através do modelo de bandas para os níveis de energia dos elétrons nos sólidos. Os materiais dosimétricos de sinal OSL são, em sua maioria, cristais iônicos nos quais a banda de valência se encontra repleta de elétrons, enquanto a banda de condução está vazia. As bandas de valência e de condução estão separadas por uma larga faixa de estados energéticos “não permitidos” aos

elétrons, conhecida como a banda proibida. Defeitos na estrutura da banda proibida criam estados metaestáveis de energia denominados de armadilhas de elétrons e centros de recombinação de buracos (BOOTER – JENSEN *et al*, 2003; SOUSA, 2009).

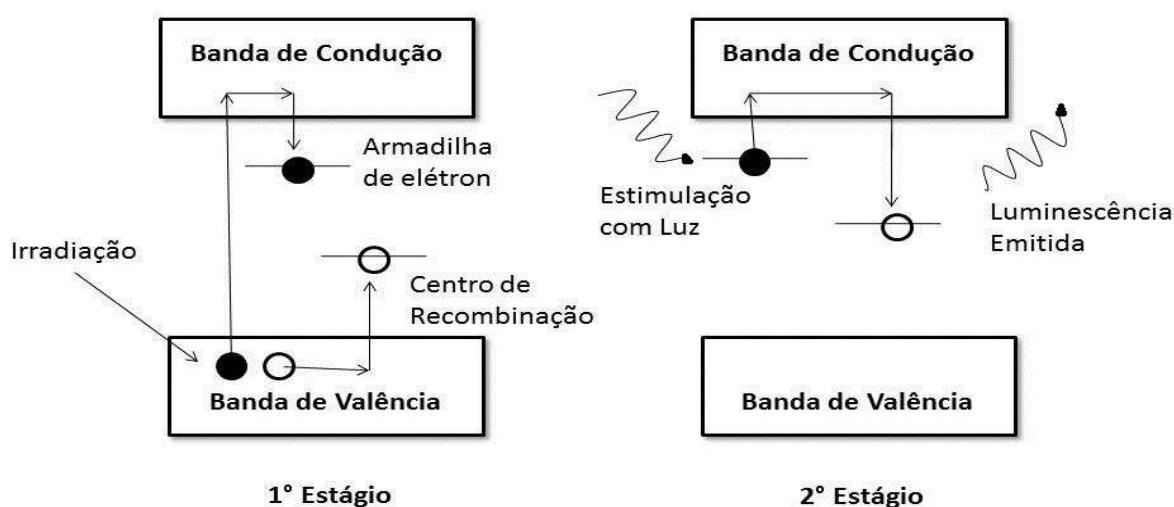
O processo consiste de dois estágios: o 1º estágio consiste da irradiação do material, onde o material passa do estado em equilíbrio para o estado metaestável e o 2º consiste da estimulação luminosa, onde o material passa do estado metaestável para o estado em equilíbrio (Figura 2.4).



**Figura 2.4: Representação esquemática dos dois estágios de processo de Luminescência Opticamente Estimulada**

O processo começa com a radiação causando ionização no material. Os elétrons que se encontram na banda de valência são excitados, passando para a banda de condução, deixando uma vacância na banda de valência, o chamado buraco, criando os pares elétrons/buracos. Os elétrons e buracos, nas suas respectivas bandas de condução e de valência, movimentam-se livremente até se recombinarem ou até serem capturados nas armadilhas para elétrons e centros de recombinação para buracos, que representam o estado metaestável. O total de cargas armadilhadas nesse nível de energia é proporcional ao total de dose de radiação ionizante absorvida pelo material OSL (NASCIMENTO, 2007; MARIN, 2010).

No 2º estágio do processo, quando o material é estimulado com luz, os elétrons absorvem a energia proveniente da luz, e escapam das armadilhas, sendo os elétrons atraídos novamente para a banda de condução (BOOTER - JENSEN *et.al.*, 2003). Os elétrons que seguiram para a banda de condução, ao se desexcitarem, tendem a ir para a banda de valência, ou seja, para um estado estável. Se no caminho, encontrarem com centros de recombinação, se recombinam com os buracos emitindo luz.



**Figura 2.5: Representação esquemática do processo da Luminescência Opticamente Estimada**

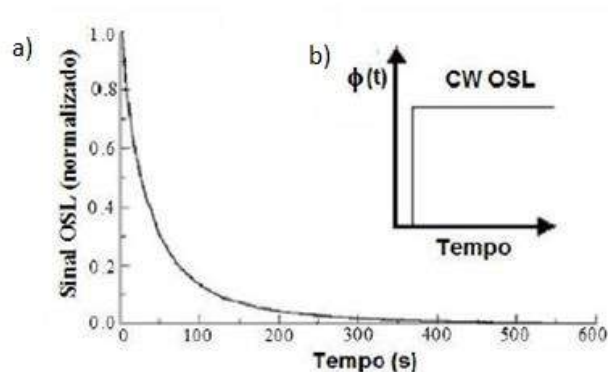
A quantidade de luz emitida é mensurável através de um tubo fotomultiplicador, e sua intensidade aumenta com a população de elétrons armadilhados. A quantidade de luz também cresce com a exposição do material até atingir um máximo. Desta forma, a luz medida na emissão OSL depende da população de elétrons, que por sua vez, depende da dose de radiação absorvida pelo cristal. A emissão OSL também depende da intensidade da estimulação já que uma maior quantidade de fótons estimuladores aumentará a probabilidade de desarmadilhamento dos elétrons e conseqüentemente uma maior recombinação do par elétron-buraco (BOOTER - JENSEN *et. al.*, 2003; SOUSA, 2009).

Portanto, a intensidade do sinal OSL é proporcional à dose de radiação absorvida pelo material e por isso sua resposta luminescente pode ser utilizada na dosimetria de radiações ionizantes.

### 2.3.1 - OSL de Onda Contínua

A luminescência opticamente estimulada por onda contínua (CW - OSL) é a forma mais utilizada de leitura. A estimulação luminosa do material é feita de forma contínua, utilizando uma fonte luminosa enquanto se mede a intensidade OSL emitida (MARIN, 2010).

Para o estímulo do sinal OSL pode ser usado laser ou LED com comprimento de onda apropriado. A luminescência emitida pela amostra é monitorada continuamente enquanto o feixe de estímulo estiver ligado. São utilizados filtros para discriminar a luz de excitação e o sinal de luminescência. O sinal OSL é monitorado desde o instante em que a fonte é ligada até que todas as armadilhas sejam esvaziadas. O sinal obtido se apresenta na forma de uma exponencial decrescente. A integral do sinal de emissão (ou seja, a área abaixo da curva) é usada para determinar a dose de radiação absorvida (NASCIMENTO, 2007).



**Figura 2.6: a) Resposta OSL de onda contínua para  $Al_2O_3:C$  e b) estímulo OSL de Onda Contínua (CW OSL) (Nascimento, 2007)**

### 2.3.2 - Vantagens e Desvantagens

A técnica OSL possui algumas vantagens sobre a Termoluminescência. O estímulo na técnica OSL é feito por luz e não por aquecimento, e por isso não possui o efeito de degradação térmica da eficiência (thermal quenching), que é o processo em que a eficiência luminosa decresce com a temperatura devido ao aumento das transições dos elétrons desarmadilhados que se recombinam com buracos sem produzir luminescência em centros ditos centros assassinos (killer centers). Assim, a técnica OSL apresenta uma maior sensibilidade em relação à Termoluminescência (FURETTA, 2010; LARSEN, 1999).

Embora a técnica de Luminescência Opticamente Estimulada faça uso de materiais e instrumentação eletrônica similar aos utilizados na dosimetria TL, a alta sensibilidade do detector, a precisão na intensidade e no comprimento de onda da luz estimuladora para a leitura dos dosímetros, os tempos curtos de leitura, assim como um leitor de simples automação e manipulação, fazem esta técnica apresentar maiores vantagens que as oferecidas pela técnica de Termoluminescência. Como não há necessidade de aquecimento, são usados circuitos mais simples.

Em amostras orgânicas, não é necessário separar a parte polimineral da orgânica. As amostras podem ser utilizadas *in natura*.

Outra vantagem desta técnica é permitir a releitura do dosímetro uma vez que, para a geração do sinal OSL não é necessário o total esvaziamento das armadilhas de elétrons, isto é, o estímulo luminoso pode liberar apenas uma fração, permitindo que os elétrons armadilhados restantes sejam utilizados em outra leitura.

A desvantagem da técnica OSL é a sensibilidade à luz. As amostras precisam ser protegidas da luz e manipuladas em câmaras escuras depois de irradiadas.

### **2.3.3 - Aplicações da Técnica OSL**

A Luminescência Opticamente Estimulada é atualmente uma das principais técnicas usadas em dosimetria das radiações. Sua aplicação se estende desde a física médica até métodos de datação (em geologia e arqueologia), passando pela dosimetria espacial, dosimetria retrospectiva e monitoração individual externa (NASCIMENTO, 2007).

A dosimetria por OSL também é muito aplicada em Radioterapia (SOUSA, 2009, MARIN, 2010).



## **CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 - Obtenção e preparação das amostras**

A escolha do uso de condimentos para este trabalho se deve ao fato de serem alimentos secos, e por isso são de fácil manipulação, além de ser o tipo de alimento mais tratado por irradiação, tanto no Brasil quanto no mundo, correspondendo a 46% de todo volume de alimentos irradiados no mundo e cerca 87% no Brasil (KUME, 2009).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos oito condimentos: coentro, cominho, erva-doce, gengibre, louro em pó, pimenta branca, pimenta preta e orégano.

As amostras são de marcas comercializadas e foram obtidas em mercados. As amostras não possuíam o símbolo Radura, portanto não foram tratadas por irradiação. Para cada condimento, foi utilizado o mesmo lote para todas as irradiações realizadas neste trabalho.

### **3.2 - Irradiações das Amostras**

Amostras de oito tipos de condimentos: coentro, cominho, erva-doce, gengibre, louro em pó, pimenta branca, pimenta preta e orégano, foram submetidas à irradiação gama de Cobalto-60 no Irradiador Gammacell 220 da Nordion do Laboratório de Instrumentação Nuclear da COPPE/UFRJ (Figura 3.1) nas doses de 250 Gy, 500 Gy, 1 kGy, 5 kGy e 10 kGy. Estas amostras de condimentos foram irradiadas em tubos de plástico envolvidos em papel alumínio para proteger as amostras da luz. A taxa de dose utilizada foi de 18,9 Gy/min.



**Figura 3.1: Irradiador Gammacell 220 da Nordion (Almeida, 2009)**

### **3.3 - Preparação das amostras**

#### **3.3.1 - Amostras para o estudo da intensidade do sinal OSL versus a Dose Absorvida:**

Após as amostras terem sido irradiadas nas doses de 250 Gy, 500 Gy, 1 kGy, 5 kGy e 10 kGy, foram feitas pastilhas de condimentos, com diâmetro de 5,0 mm, para cada amostra. Estas pastilhas foram feitas com a ajuda de uma prensa (figuras 3.2 e 3.3). Para a confecção das pastilhas foi necessário utilizar teflon como material ligante na quantidade de 1/3 do total da massa da pastilha.

As massas de cada condimento utilizadas para a formação das pastilhas estão listadas na tabela 3.1. As pastilhas, para um mesmo condimento, tinham a mesma massa, o mesmo diâmetro e foram feitas sob a mesma pressão.



**Figura 3.2: Pastilha de condimento feita no Laboratório de Dosimetria OSL**



**Figura 3.3: Prensa utilizada para fazer as pastilhas**

**Tabela 3.1: Massas dos condimentos utilizadas para a formação das pastilhas**

<b>Condimento</b>	<b>Massa (mg)</b>
<b>Coentro</b>	20,0
<b>Cominho</b>	20,0
<b>Erva-doce</b>	16,7
<b>Gengibre</b>	20,0
<b>Louro em pó</b>	20,0
<b>Pimenta branca</b>	20,0
<b>Pimenta Preta</b>	20,0
<b>Orégano</b>	6,7

### 3.3.2 - Amostras para estudo da intensidade do Sinal OSL versus a massa da amostra:

Com o propósito de verificar a influência da massa das amostras no sinal de OSL, foram selecionadas amostras de condimentos irradiadas com 1 kGy com massas diferentes.

Para este estudo não foram feitas pastilhas de condimentos, as massas eram medidas e depositadas diretamente nos discos de alumínio, com 9,7 mm de diâmetro, cobertos por silicone. O objetivo deste estudo foi verificar a variação do sinal com a massa da amostra.

**Tabela 3.2: Massas das amostras utilizadas**

<b>Condimento</b>	<b>Massa (mg)</b>				
<b>Cominho</b>	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0
<b>Orégano</b>	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0
<b>Gengibre</b>	5,0	10,0	20,0	30,0	-

### 3.3.3 - Amostras para estudo do desvanecimento do Sinal OSL (“Fading”)

O desvanecimento do sinal OSL é a perda do sinal com o tempo de armazenamento, isto é, com intervalo de tempo entre a irradiação e a leitura. O desvanecimento pode ter várias causas, mas a principal é térmica. Ocorre devido à liberação não intencional de elétrons armadilhados de baixa energia movendo-se para o estado fundamental. Por ser essencialmente um efeito termodinâmico, as armadilhas de mais baixas temperaturas são as mais afetadas (McKEEVER *et. al.*, 1995).

A umidade e a luz também podem influenciar no desvanecimento de alguns materiais.

Na tabela 3.3 são apresentadas as massas padrões utilizadas para o estudo do desvanecimento do sinal. Não foram feitas pastilhas de condimentos.

**Tabela 3.3: Massas dos condimentos utilizadas para o estudo de desvanecimento**

<b>Condimento</b>	<b>Massa (mg)</b>
<b>Coentro</b>	30,0
<b>Cominho</b>	30,0
<b>Erva-doce</b>	20,0
<b>Gengibre</b>	30,0
<b>Orégano</b>	10,0

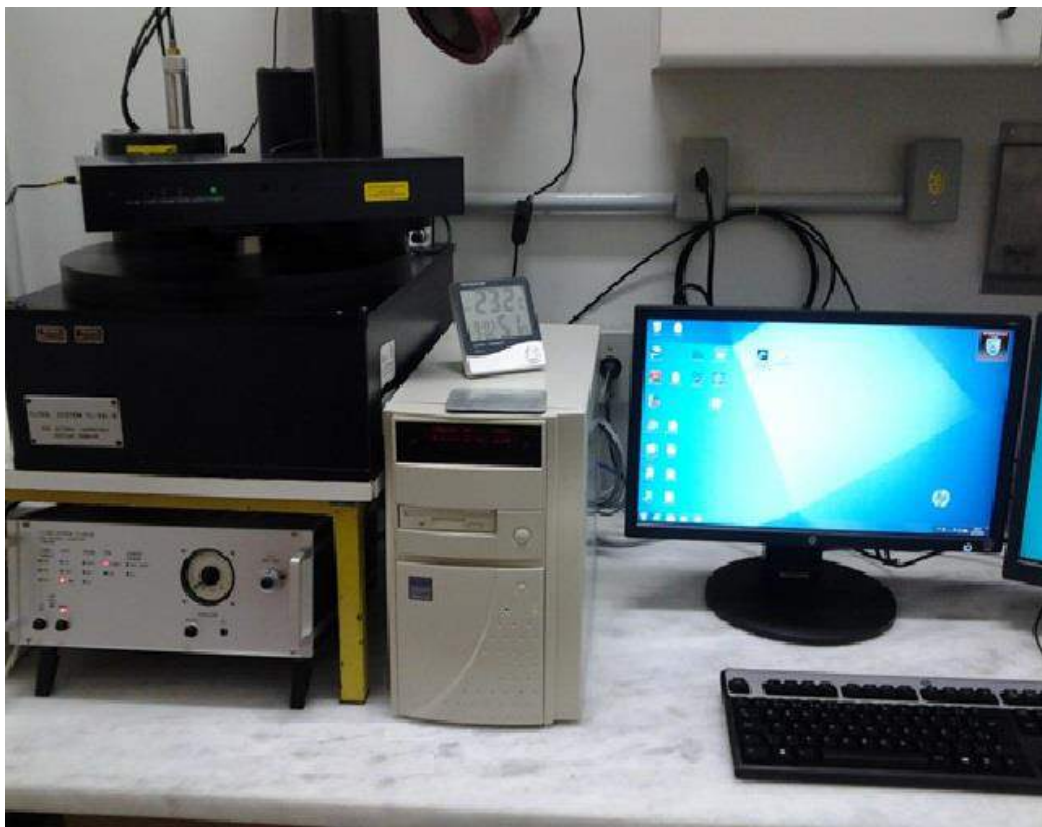
### **3.4 - Medição do Sinal OSL**

#### **3.4.1 - Sistema Leitor OSL**

As medições experimentais do sinal de OSL foram realizadas em um leitor RISØ TL/OSL-DA-15B do Laboratório de Dosimetria OSL do IRD (Figura 3.4).

Os componentes essenciais do leitor RISØ TL/OSL são (DTU NUTECH, 2014; MARINS, 2010):

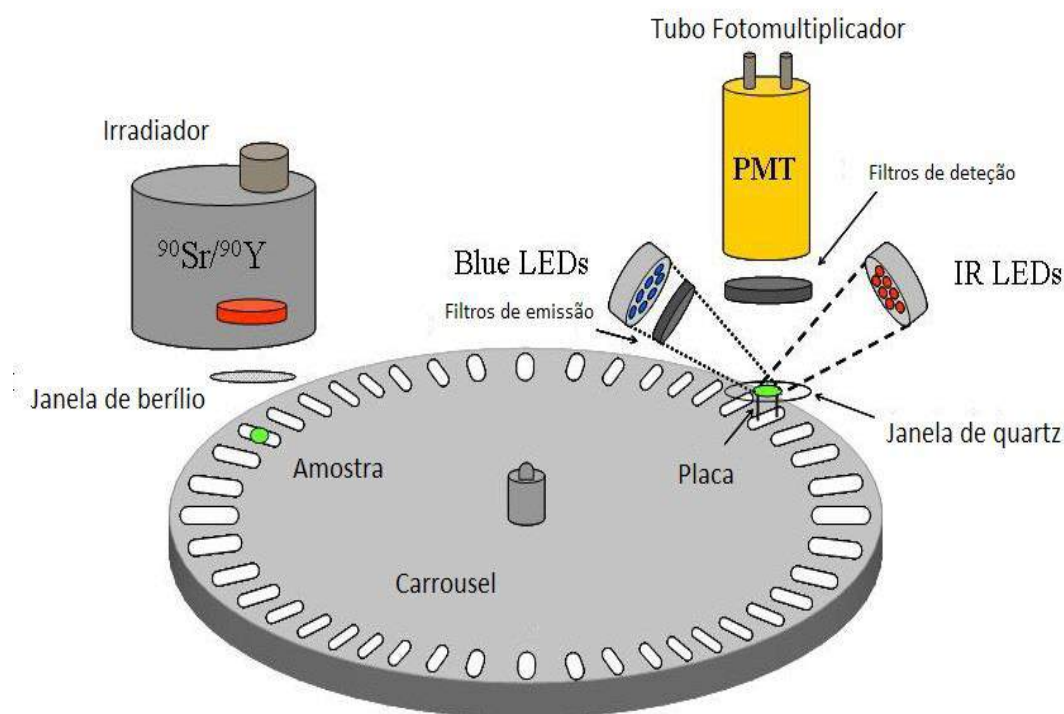
- Sistema de detecção luminosa
- Sistema de estimulação luminosa (térmica e óptica)
- Fonte de radiação



**Figura 3.4: Laboratório de Dosimetria OSL do IRD**

O sistema de detecção luminosa inclui um tubo fotomultiplicador (PMT) em combinação com filtros de detecção adequados. O sistema de estimulação luminosa inclui uma unidade de estimulação luminosa constituída por uma matriz de LEDs azuis. Os filtros de luz selecionam o comprimento de onda que deve ser utilizado ou que deve ser eliminado a partir da fonte estimuladora.

O sistema de medição do leitor RISØ TL/OSL possibilita medir termoluminescência ou luminescência opticamente estimulada. O sistema é automatizado e permite medir 48 amostras individualmente. A luminescência emitida é medida por um sistema de detecção luminosa composto por um tubo fotomultiplicador e filtros de detecção adequados que eliminam a luz estimuladora enquanto permitem a passagem do sinal OSL proveniente da amostra. O esquema do leitor OSL está representado na figura 3.5.



**Figura 3.5: Esquema do leitor RISØ TL/OSL (DTU Nutech, 2014)**

### 3.4.2 - Parâmetros Utilizados na Medição:

A Luminescência Opticamente Estimulada foi realizada pela estimulação luminosa das amostras em 20 segundos. Inicialmente, o tempo utilizado era de 40 segundos, porém foi constatado que para o tempo de 20 segundos não se perdia informações sobre o sinal OSL. Outros tempos de estimulação também foram utilizados como 5 e 10 segundos, porém nestes casos havia perda de informação do sinal OSL.

Foi utilizada para a luz de estímulo a luz azul com o comprimento de onda de 470 nm, pois o material sensível presente nos condimentos é estimulado com este comprimento de onda. O modo de estimulação utilizado foi o modo contínuo (CW - OSL), uma vez que, é o modo mais utilizado neste tipo de medição.

Foram medidas cinco alíquotas para cada amostra e calculado a média com os valores obtidos da integral das curvas OSL.

Para cada um dos oito tipos de condimentos, foram realizadas medições do sinal OSL de amostras não irradiadas para verificar a presença de sinal OSL mesmo com dose zero.

O desvanecimento do sinal OSL foi medido durante o intervalo de um mês para os condimentos, irradiados com 1 kGy, que apresentaram intensidade de sinal OSL: coentro, cominho, erva-doce, gengibre e orégano. As amostras foram armazenadas na temperatura de 20°C e umidade em 30%

### 3.4.3 - Software para Análise dos Dados

O programa computacional utilizado para calcular a intensidade do sinal OSL foi o Analyst Versão 3.04 b (figura 3.6). Este programa faz parte do pacote fornecido pela RISØ. Neste programa também é possível visualizar as curvas de emissão OSL da amostra.

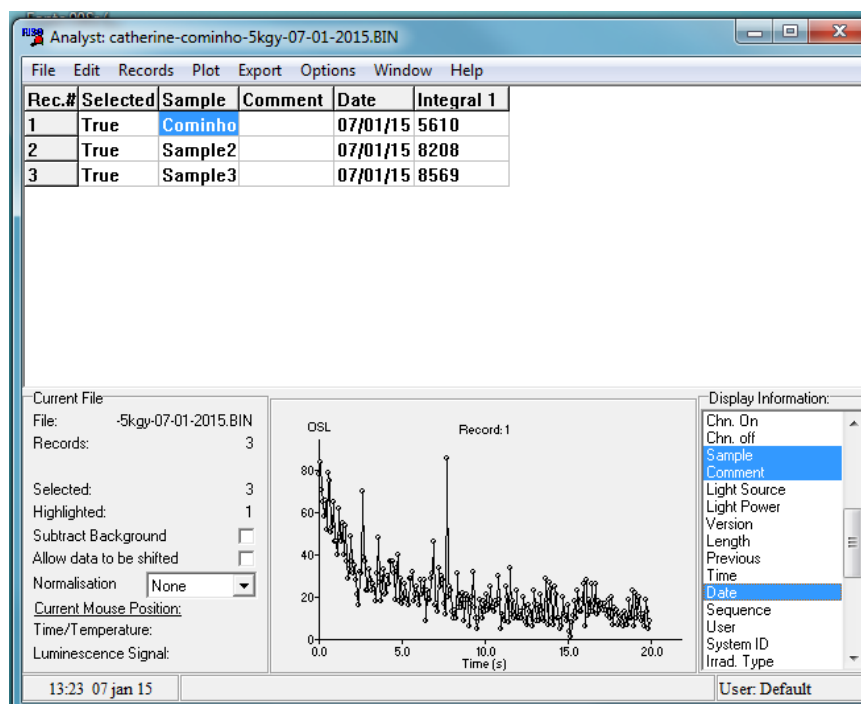


Figura 3.6: Programa Analyst versão 3.04 b



#### 3.4.4 - Incertezas associadas às medições

A incerteza associada à medição experimental neste trabalho é considerada com sendo uma incerteza padrão do tipo A. Portanto a incerteza  $u(x_i)$  associada ao valor de intensidade do sinal OSL é obtida por meio da equação 3.1 :

$$u(x_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

Onde  $n$  é o número de medições para cada amostra (cinco medições) e  $s(x_i)$  é o desvio padrão experimental calculado pela equação 3.2:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Intensidade do Sinal OSL

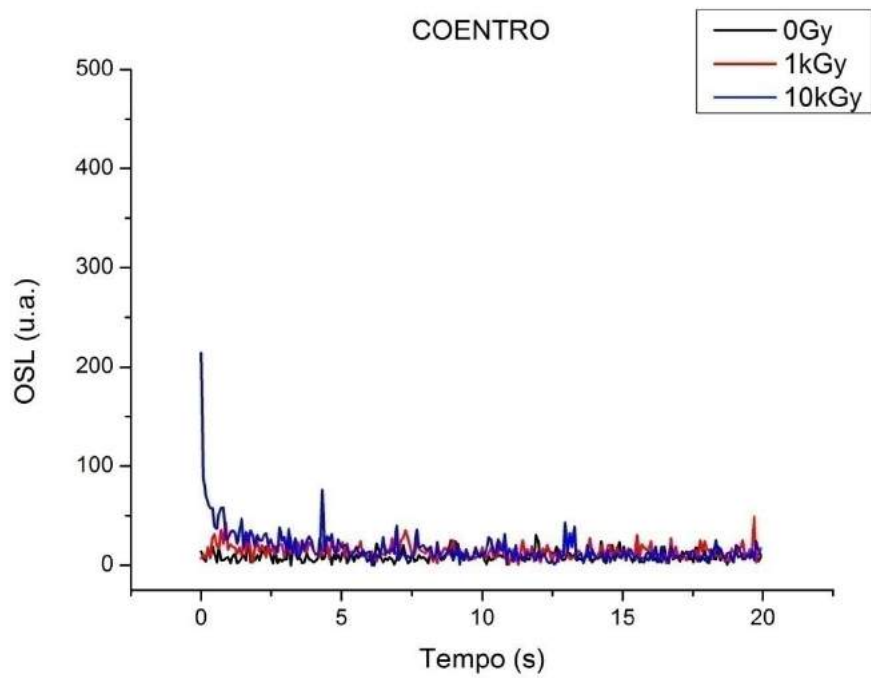
Nas figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 são apresentados os sinais OSL obtidos para cada condimento nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy.

Vale ressaltar que nenhum condimento apresenta sinal OSL para dose zero (não irradiado), significando que a presença do sinal OSL é unicamente devido à irradiação das amostras.

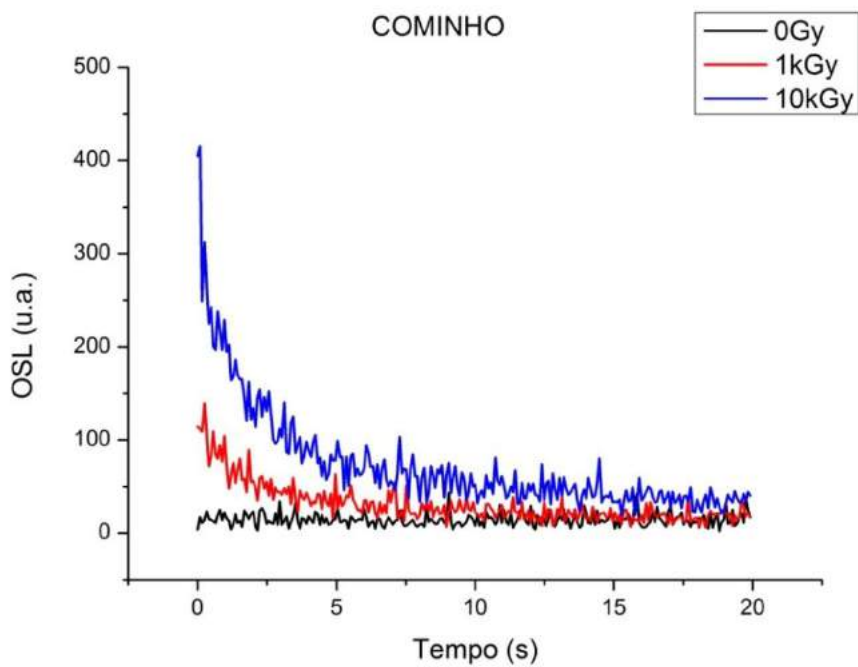
Os condimentos que apresentam sinal de OSL após serem irradiados são: coentro, cominho, erva-doce, gengibre e orégano. Enquanto que os condimentos louro em pó, pimenta branca e pimenta preta não apresentam sinal OSL para qualquer que seja o valor de dose.

Segundo CRUZ - ZARAGOZA *et. al.* (2005) e PINNIOJA (1998), a luminescência provém dos minerais presentes em cada condimento. Os condimentos que contém quartzo e feldspato são aqueles que apresentaram a maior luminescência emitida, ou seja, a maior intensidade de sinal.

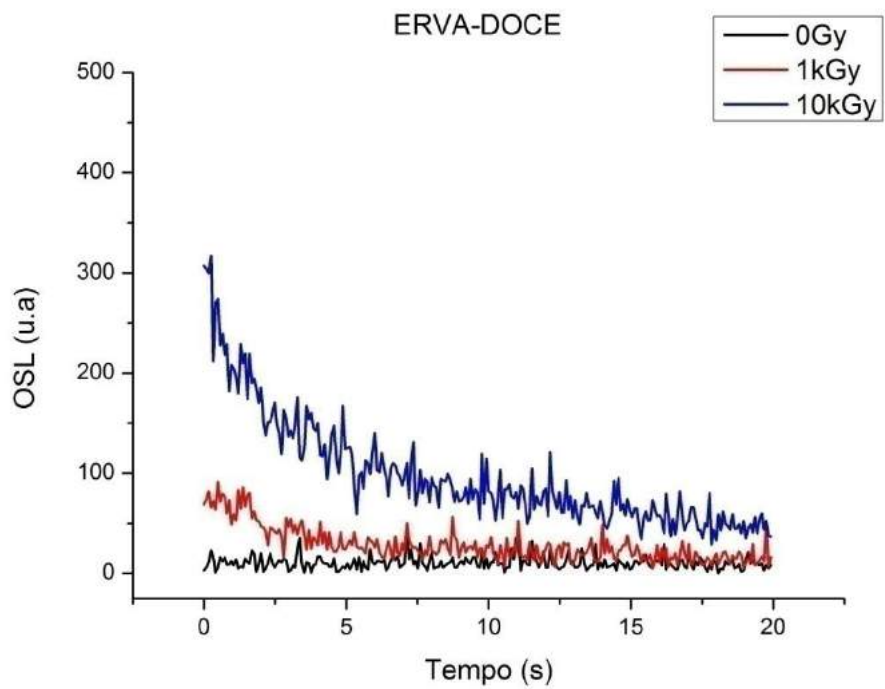
Neste trabalho foi usada a luz azul como estímulo do sinal, a intensidade do sinal OSL é dependente apenas da luminescência emitida pelos grãos do mineral quartzo presentes nas amostras, uma vez que, a luminescência dos grãos do mineral feldspato é estimulada apenas com o comprimento de onda do infravermelho.



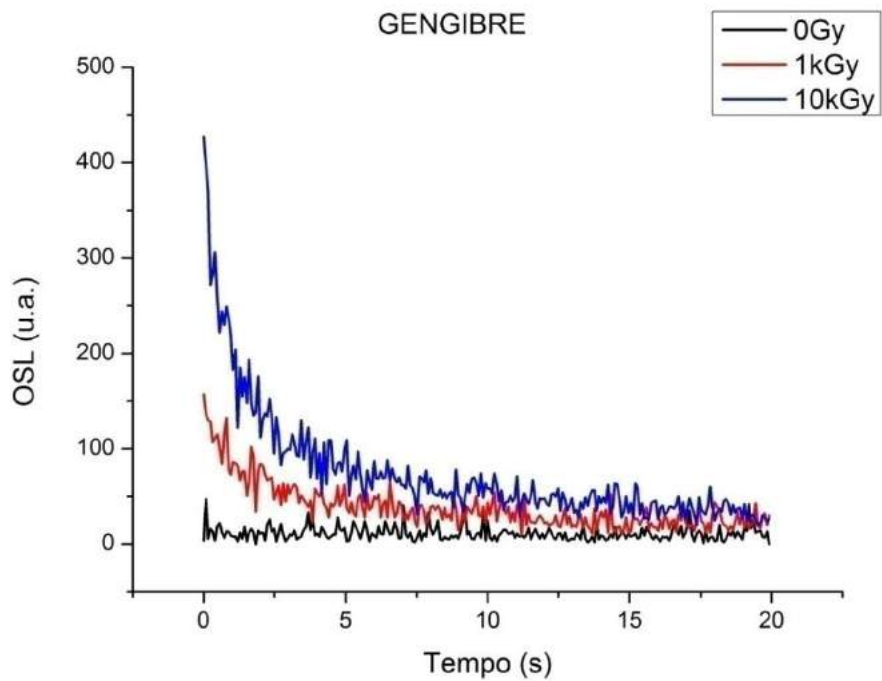
**Figura 4.1: Curva OSL para o coentro nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



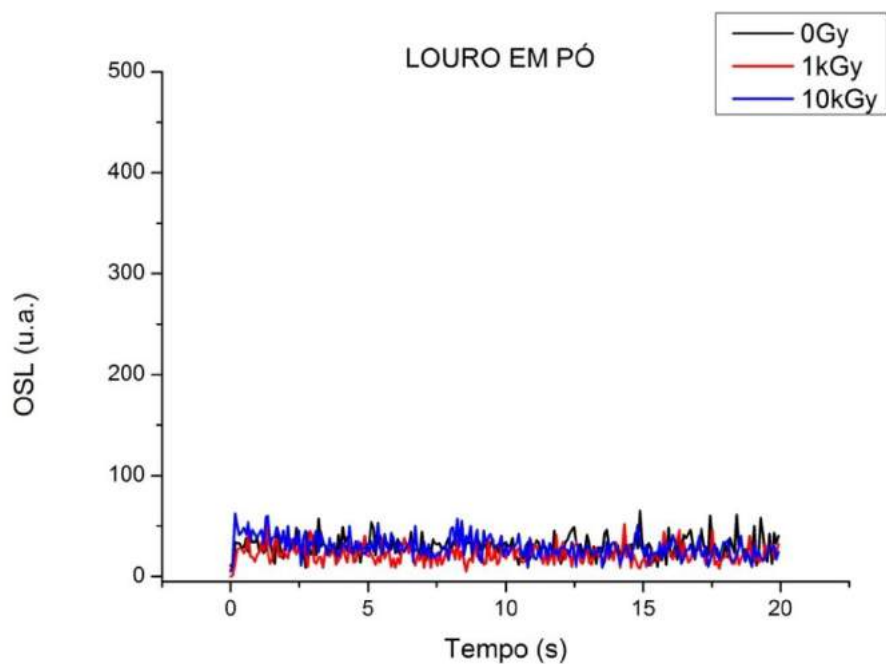
**Figura 4.2: Curva OSL para o cominho nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



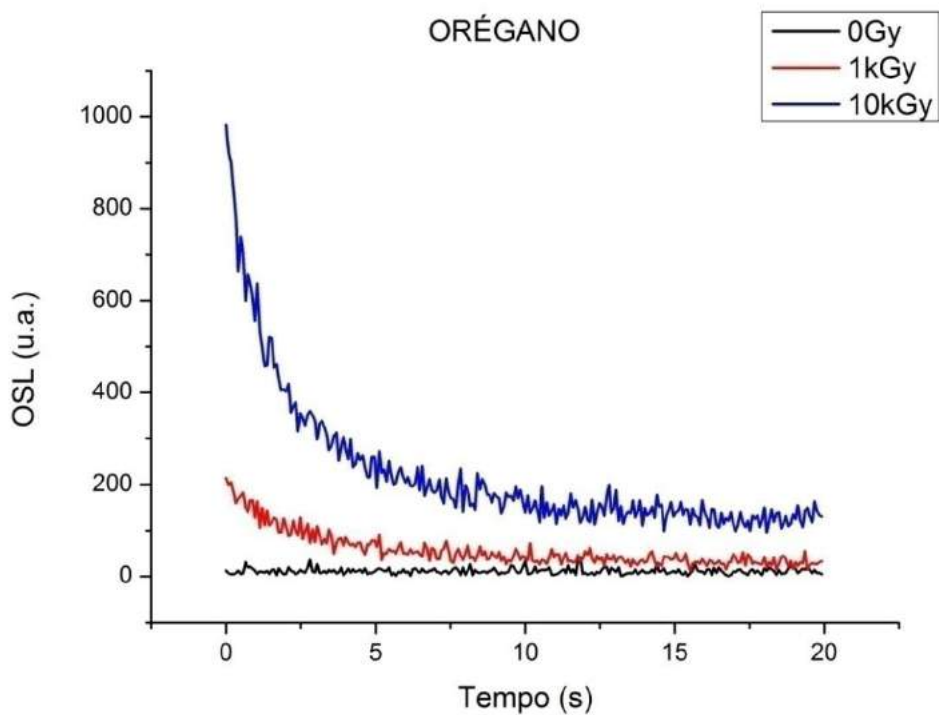
**Figura 4.3: Curva OSL para a erva-doce nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



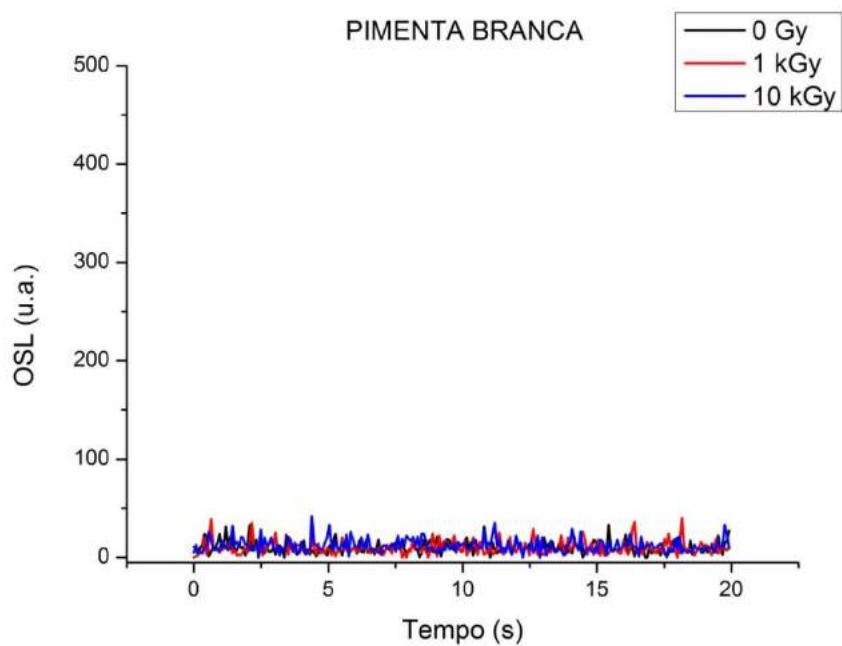
**Figura 4.4: Curva OSL para o gengibre nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



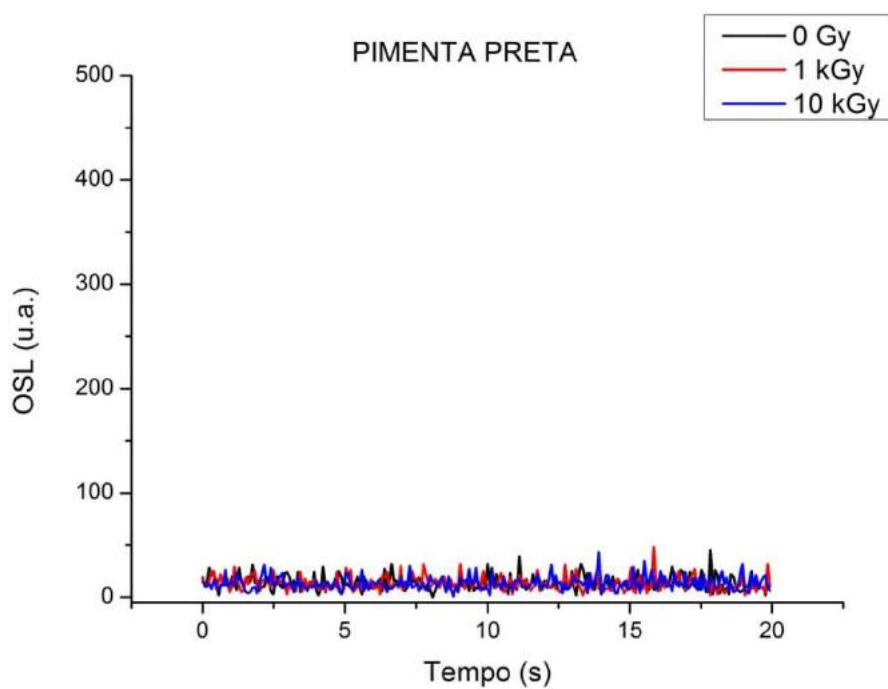
**Figura 4.5: Curva OSL para o louro em pó nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



**Figura 4.6: Curva OSL para o orégano nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



**Figura 4.7: Curva OSL para a pimenta branca nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**



**Figura 4.8: Curva OSL para a pimenta preta nas doses de 0 Gy, 1 kGy e 10 kGy**

## 4.2- Intensidade do Sinal OSL versus a Dose Absorvida

Os dados obtidos com as medições de OSL para cada condimento são apresentados na forma de tabelas e gráficos. As tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 estão descritos os resultados obtidos para os cinco condimentos que apresentaram resposta OSL: coentro, cominho, erva - doce, gengibre e orégano. As figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 mostram a resposta OSL em função da dose de radiação gama do Cobalto-60. Na figura 4.14 é mostrada uma comparação entre estes cinco condimentos. É possível verificar que a intensidade do sinal OSL aumenta com a dose absorvida para estes condimentos.

O valor da integral de dose zero (BG) foi subtraído de cada condimento, ou seja, os valores das médias das integrais são valores líquidos. Os valores de BG estão apresentados na tabela 4.1.

**Tabela 4.1: Valores de BG**

<b>Condimento</b>	<b>BG (u.a)</b>
<b>Coentro</b>	2329,0
<b>Cominho</b>	3506,3
<b>Erva - doce</b>	2580,5
<b>Gengibre</b>	2780,0
<b>Orégano</b>	2834,0

Apesar da massa utilizada de orégano ser a menor entre os oito condimentos, através da tabela 4.6 e da figura 4.13 pode se verificar que este é o condimento que apresentou a maior intensidade de sinal OSL.

Os condimentos coentro, cominho, erva-doce e gengibre também apresentaram bons resultados para a intensidade de sinal OSL. O cominho, a erva - doce, o gengibre e o orégano já apresentam sinal OSL na dose de 250 Gy, enquanto que para o coentro, o sinal OSL é observado a partir da dose de 5kGy.

**Tabela 4.2: Resultados obtidos para o coentro em relação à dose absorvida**

<b>Dose Absorvida (kGy)</b>	<b>Média Líquida das Integrais (u.a)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0,00</b>	0,0	87,4
<b>0,50</b>	8,0	19,8
<b>1,00</b>	51,2	108,9
<b>5,00</b>	878,8	434,9
<b>10,00</b>	2020,0	106,6

**Tabela 4.3: Resultados obtidos para o cominho em relação à dose absorvida**

<b>Dose Absorvida (kGy)</b>	<b>Média Líquida das Integrais (u.a)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0,00</b>	0,0	166,5
<b>0,25</b>	1188,0	64,0
<b>0,50</b>	1838,0	331,0
<b>1,00</b>	2299,4	1736,6
<b>5,00</b>	6139,0	1522,0
<b>10,00</b>	11695,5	1514,0



**Tabela 4.4: Resultados obtidos para a erva - doce em relação à dose absorvida**

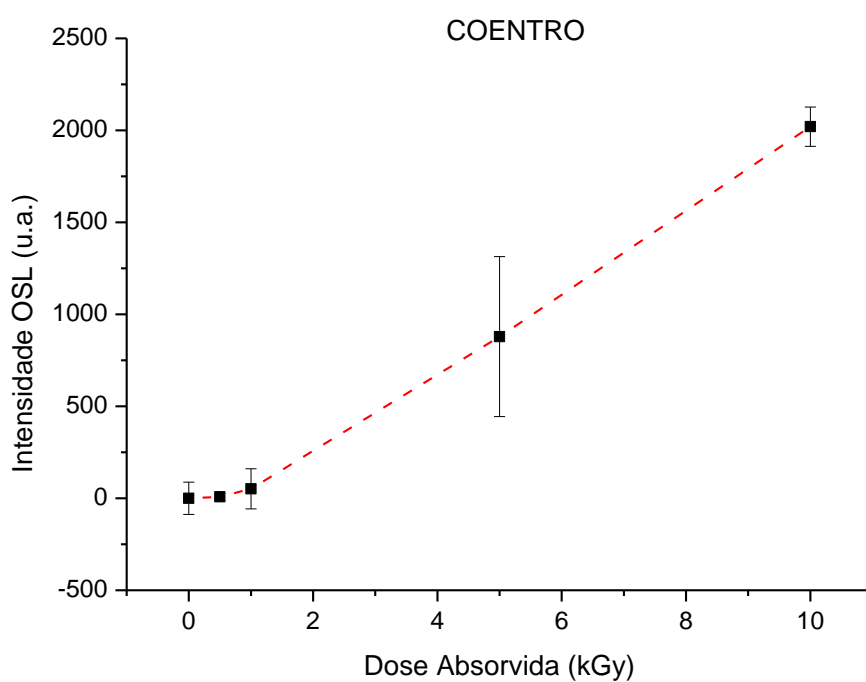
<b>Dose Absorvida (kGy)</b>	<b>Média Líquida das Integrais (u.a)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0,00</b>	0,0	99,7
<b>0,25</b>	459,8	503,7
<b>0,50</b>	1352,5	291,3
<b>1,00</b>	1921,5	423,4
<b>5,00</b>	6383,5	1170,0
<b>10,00</b>	23418,7	3150,9

**Tabela 4.5: Resultados obtidos para o gengibre em relação à dose absorvida**

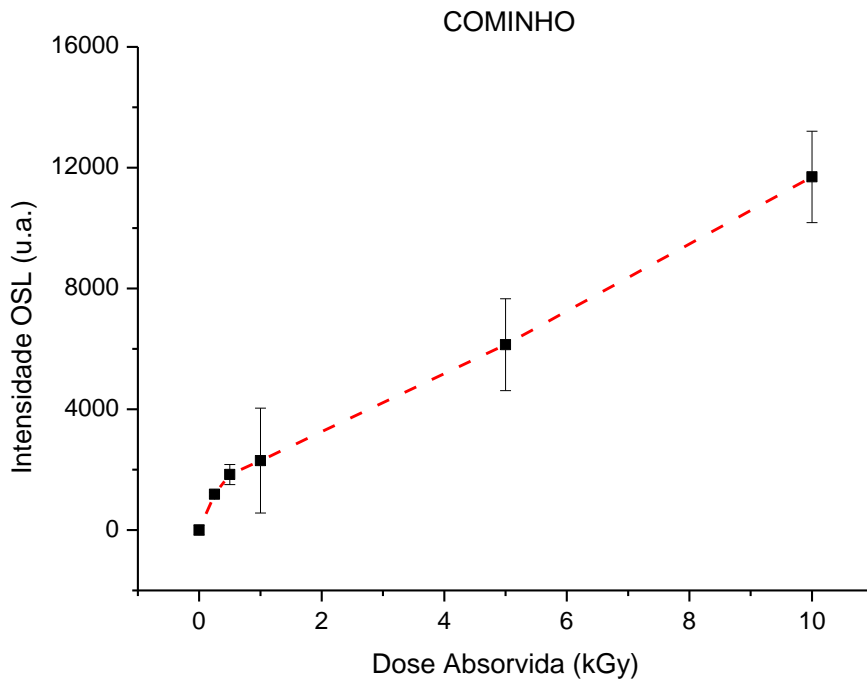
<b>Dose Absorvida (kGy)</b>	<b>Média Líquida das Integrais (u.a)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0,00</b>	0,0	9,9
<b>0,25</b>	2427,0	182,4
<b>0,50</b>	5487,0	431,9
<b>1,00</b>	6124,0	1096,1
<b>5,00</b>	8249,0	2822,0
<b>10,00</b>	13551,3	1325,8

**Tabela 4.6: Resultados obtidos para o orégano em relação à dose absorvida**

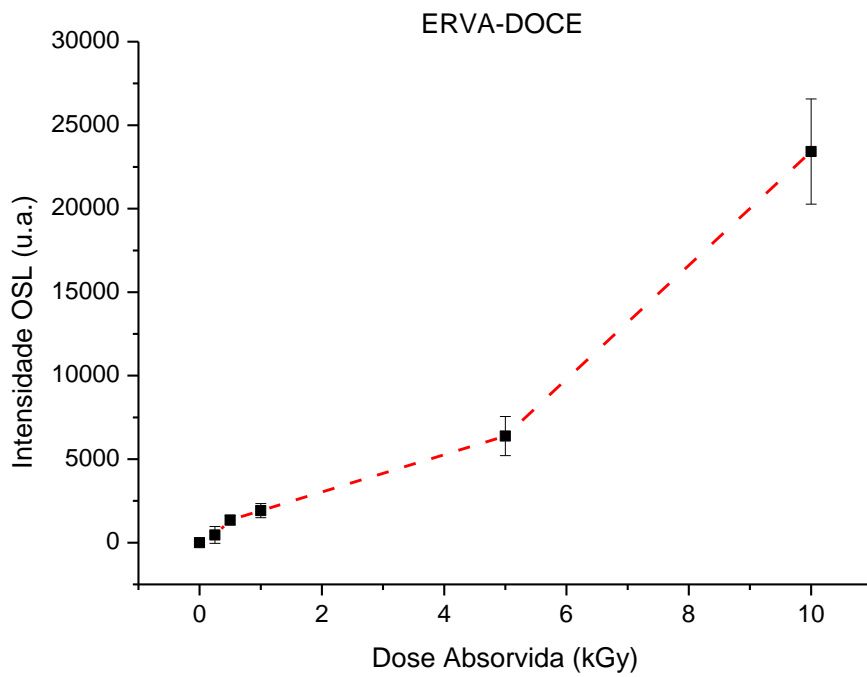
Dose Absorvida (kGy)	Média Líquida das Integrais (u.a)	Desvio Padrão
0,00	0,0	198,4
0,25	1531,8	463,2
0,50	5190	1249,1
1,00	5014,8	965,7
5,00	42956,7	2715,8
10,00	86758,5	3604,83



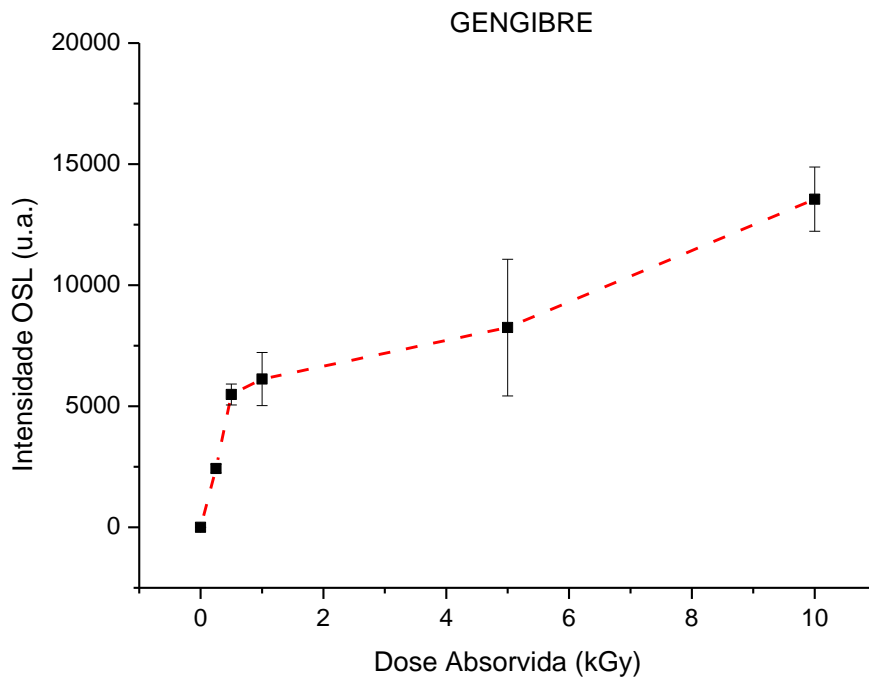
**Figura 4.9: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no coentro**



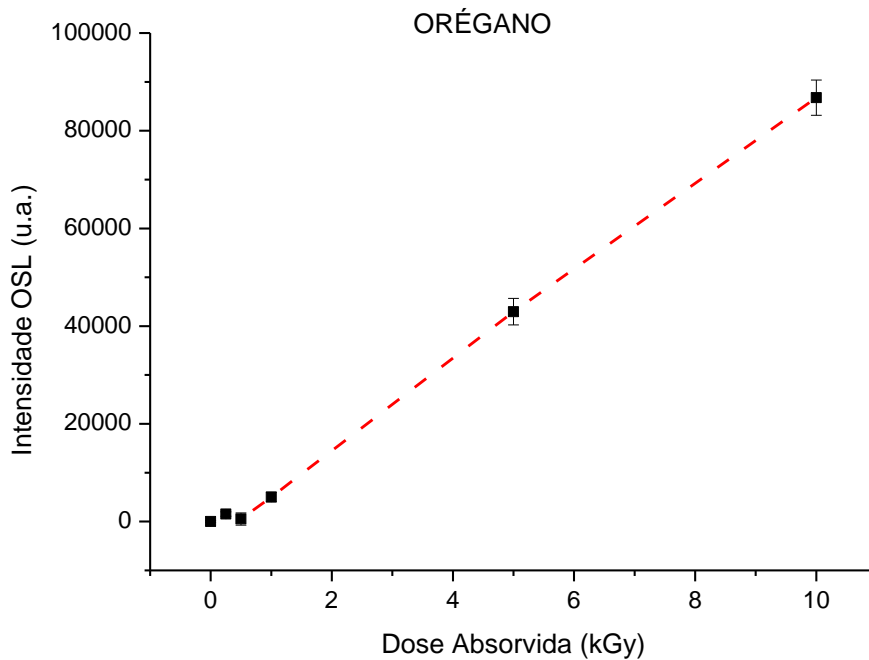
**Figura 4.10: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no cominho**



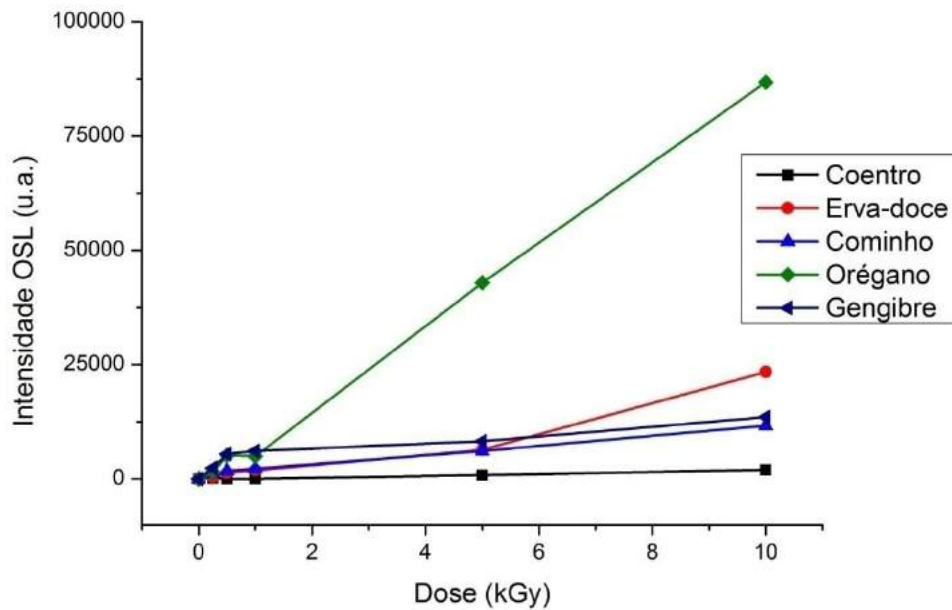
**Figura 4.11: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no coentro**



**Figura 4.12: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no gengibre**



**Figura 4.13: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama no orégano**



**Figura 4.14: Resposta OSL integrada em função da dose de radiação gama em condimentos e especiarias**

#### 4.3 - Intensidade do Sinal OSL versus a Massa da Amostra.

Os resultados estão apresentados na forma de gráficos e tabelas. Os valores obtidos com a média das integrais e seus respectivos erros estão apresentados nas tabelas 4.7, 4.8 e 4.9.

Nas figuras 4.15, 4.16 e 4.17 são apresentadas as intensidades do sinal OSL versus a massa das amostras para os condimentos cominho, gengibre e orégano.

**Tabela 4.7: Resultados obtidos com a variação da massa do condimento cominho**

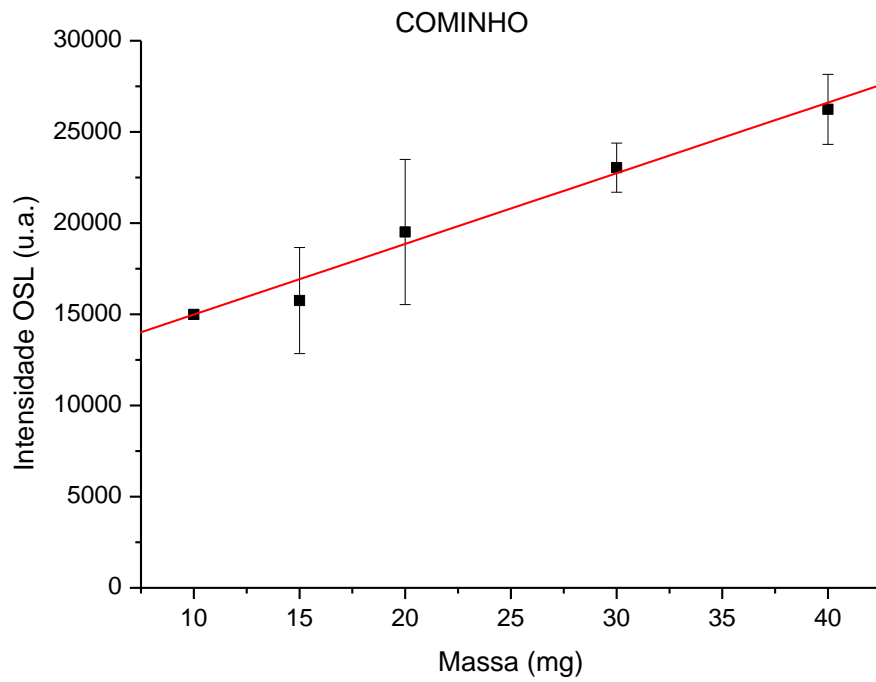
<b>Massa (mg)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
10	14987,5	233,1
15	15750,0	2907,2
20	19512,7	3976,9
30	23041,0	1350,3
40	26237,0	1921,4

**Tabela 4.8: Resultados obtidos com a variação da massa do condimento gengibre**

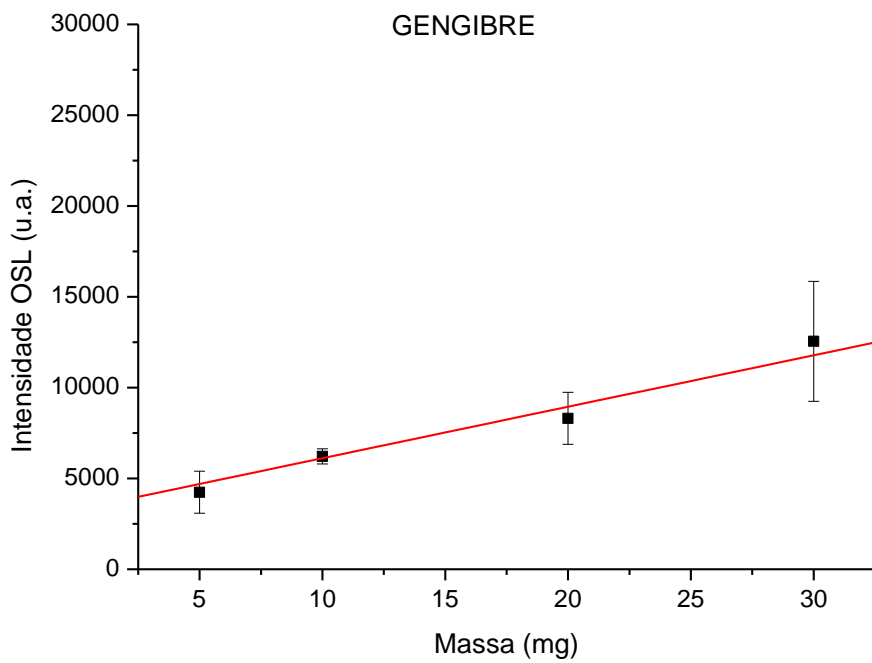
<b>Massa (mg)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
5	4241,0	1157,4
10	6215,3	416,7
20	8311,0	1428,4
30	12550,7	3300,4

**Tabela 4.9: Resultados obtidos com a variação da massa do condimento orégano**

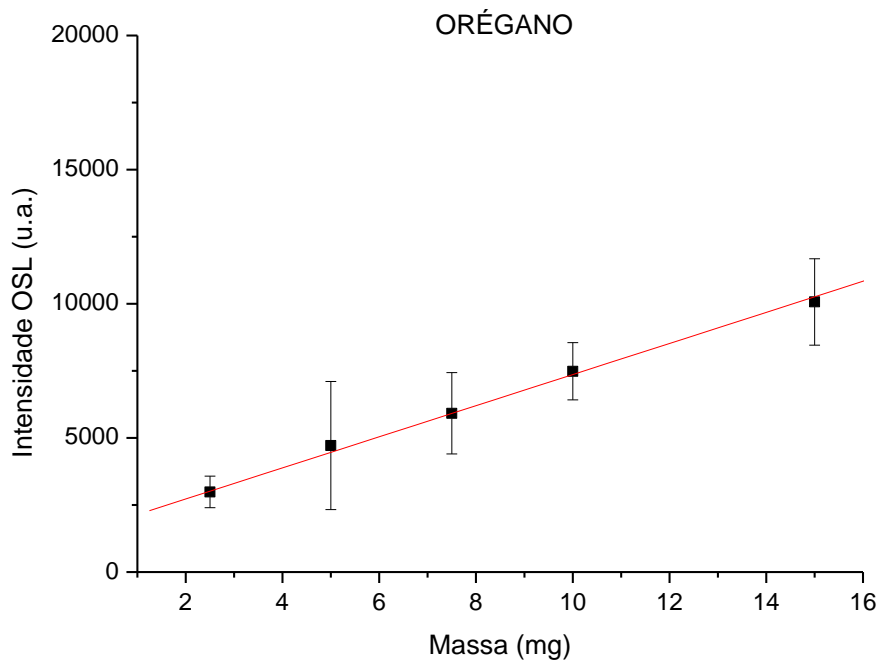
<b>Massa (mg)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
2,5	2986,0	586,9
5,0	4716,0	2386,9
7,5	5918,0	1514,6
10,0	7482,3	1066,8
15,0	10068,7	1612,3



**Figura 4.15: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o cominho**



**Figura 4.16: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o gengibre**



**Figura 4.17: Intensidade do sinal OSL versus massa da amostra para o orégano**

É possível verificar que a intensidade do sinal OSL varia linearmente com a massa da amostra de condimento, a partir dos valores de  $R^2$  encontrados (tabela 4.10). Contudo, esta relação não é diretamente proporcional.

Uma possível explicação para o sinal de OSL não ser diretamente proporcional à massa do condimento é que diferentes tamanhos de grãos de quartzo fornecem intensidades diferentes do sinal de OSL (CRUZ - ZARAGOZA *et. al.*, 2005; PINNIOJA, 1998), e como a medição é feita com o condimento *in natura*, as amostras possuem grãos com tamanhos diversos. Contudo, é possível verificar que o sinal de OSL aumenta com o aumento da massa da amostra, uma vez que a quantidade de grãos, mesmo com diâmetros diferentes, também aumenta.



**Tabela 4.10: Valores de R<sup>2</sup> encontrados**

$y = A + B \cdot x$	A	A	B	B	Estatística
	Valor	Erro	Valor	Erro	R <sup>2</sup>
<b>Cominho</b>	11110,09	172,97	387,56	14,35	0,997
<b>Gengibre</b>	3281,12	528,44	283,31	47,61	0,973
<b>Orégano</b>	1564,07	88,09	579,74	12,94	0,999

#### 4.4- Desvanecimento do Sinal OSL (Fading)

Nas tabelas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15, e nas figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22 são apresentadas os desvanecimentos da resposta OSL com o tempo de armazenamento para os condimentos que apresentaram maior intensidade de sinal OSL: coentro, cominho, erva-doce, gengibre e orégano. O sinal foi medido durante 20 dias de uma mesma amostra que foi irradiada na dose de 1kGy.

**Tabela 4.11: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal do coentro**

Tempo (dias)	Média Líquida das Integrais	Desvio padrão
<b>0</b>	7789,3	256,6
<b>2</b>	5352,0	71,7
<b>7</b>	5425,0	646,3
<b>12</b>	4291,5	562,5
<b>16</b>	4860,6	334,4
<b>19</b>	5738,0	357,0

**Tabela 4.12: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal do cominho**

<b>Tempo (dias)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>0</b>	17605,5	3077,3
<b>2</b>	14087,0	3616,1
<b>7</b>	10704,3	1484,1
<b>12</b>	11024,5	957,8
<b>16</b>	12028,4	2307,3
<b>19</b>	11657,8	3661,7

**Tabela 4.13: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal da erva - doce**

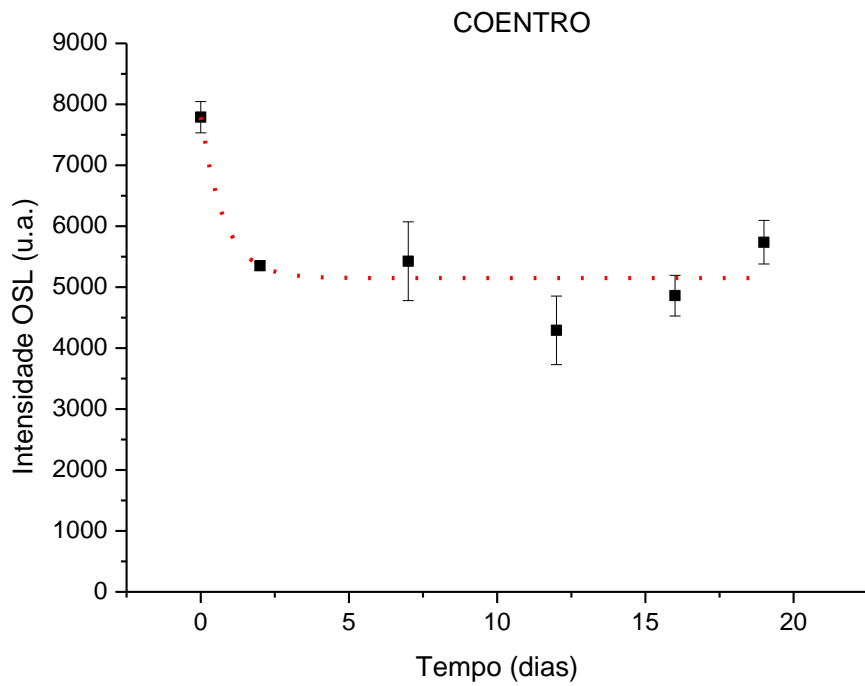
<b>Tempo (dias)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>0</b>	20212,3	3959,2
<b>5</b>	11326,3	1146,4
<b>7</b>	10560,3	1446,1
<b>12</b>	9615,8	2586,1
<b>16</b>	8138,3	732,1
<b>19</b>	7592,0	775,6

**Tabela 4.14: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal do gengibre**

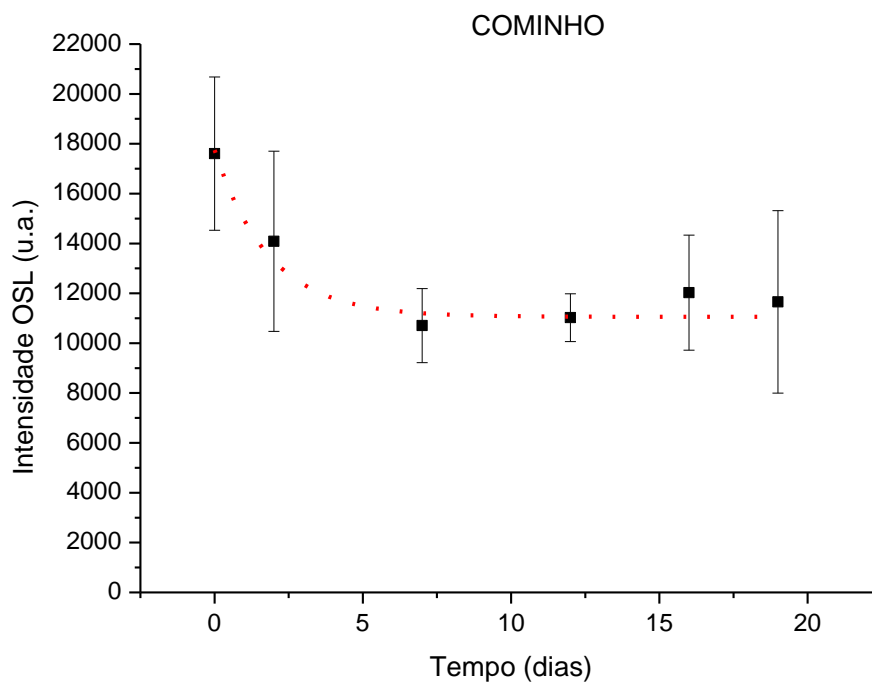
<b>Tempo (dias)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>0</b>	3697,5	817,0
<b>2</b>	3850,2	750,0
<b>5</b>	3519,8	342,4
<b>7</b>	3419,0	330,9
<b>12</b>	3523,3	225,7
<b>16</b>	3563,5	703,6
<b>19</b>	3493,0	90,5

**Tabela 4.15: Valores obtidos para o desvanecimento do sinal do orégano**

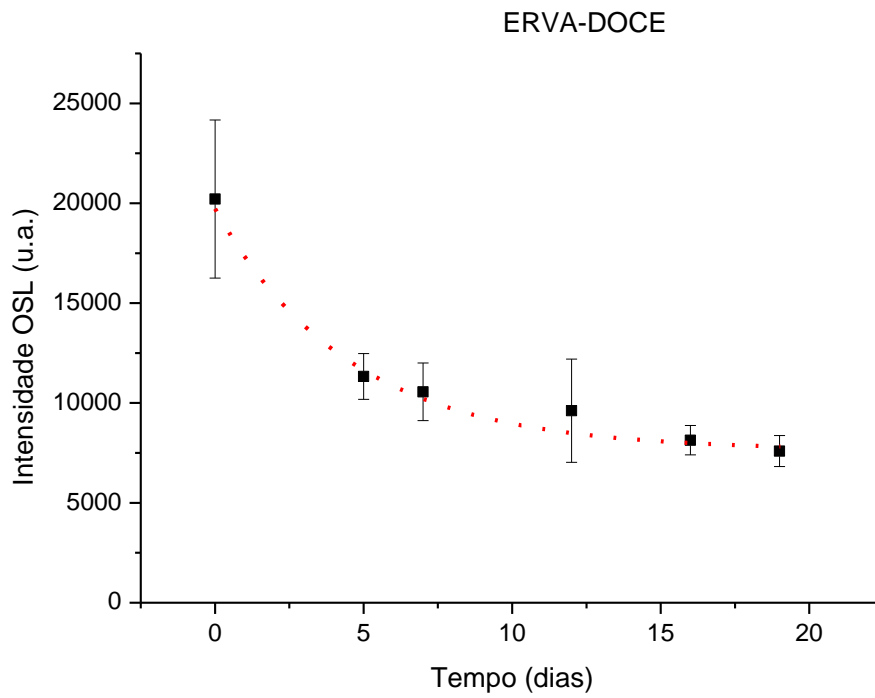
<b>Tempo (dias)</b>	<b>Média Líquida das Integrais</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>0</b>	58837,3	8125,5
<b>2</b>	55511,4	11398,3
<b>5</b>	51935,0	3768,8
<b>12</b>	49537,0	7903,9
<b>16</b>	35438,6	5821,3
<b>19</b>	29110,3	8471,5



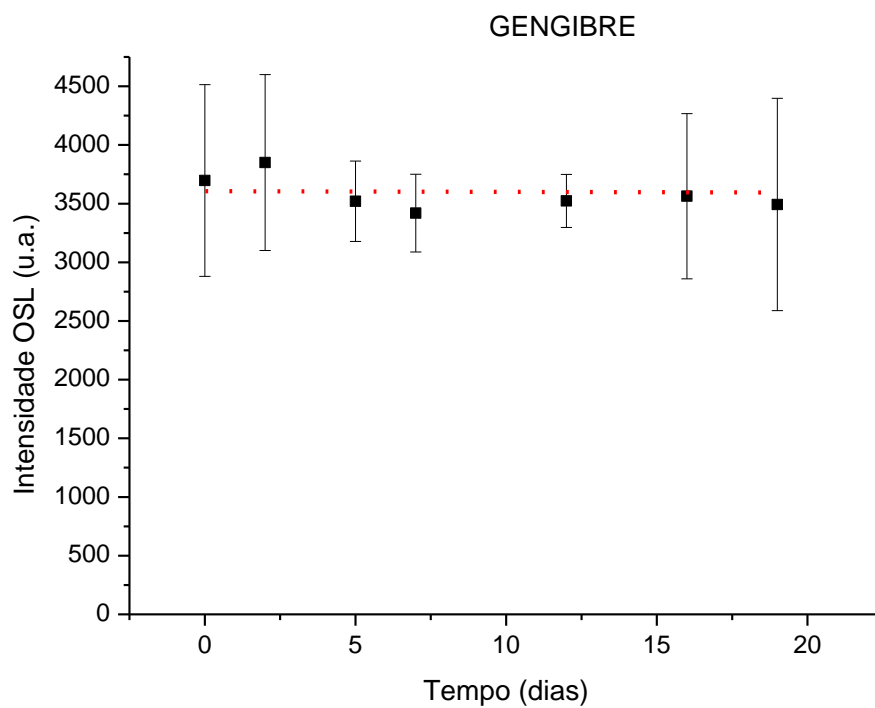
**Figura 4.18: Desvanecimento para o coentro**



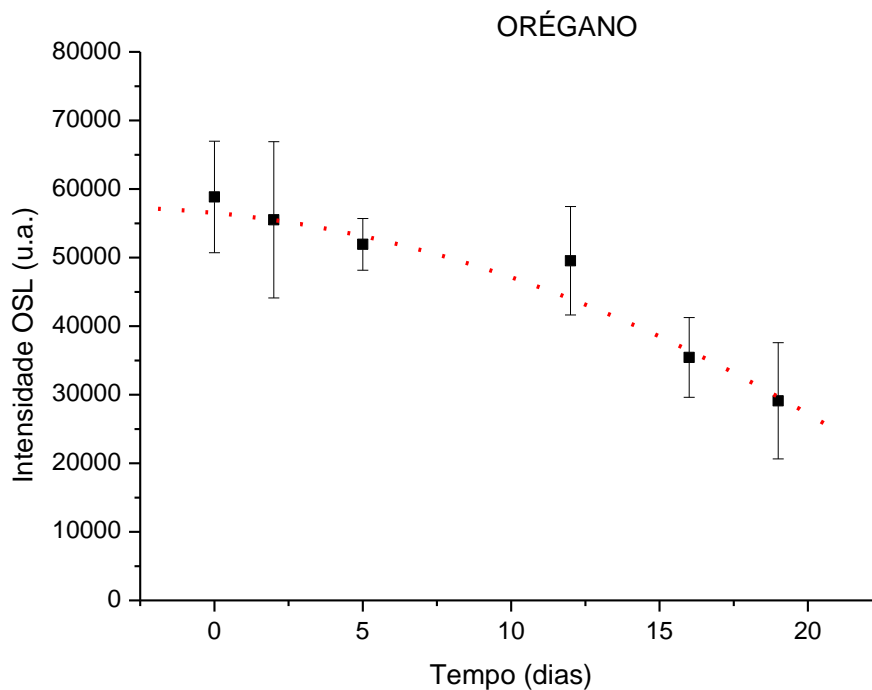
**Figura 4.19: Desvanecimento para o cominho**



**Figura 4.20: Desvanecimento para a erva - doce**



**Figura 4.21: Desvanecimento para o gengibre**



**Figura 4.22: Desvanecimento para o orégano**

O sinal de OSL para o gengibre não sofreu desvanecimento no intervalo de 20 dias, ou seja, se manteve estável. Para o coentro, cominho e erva - doce, após período de 20 dias, o sinal de OSL sofreu desvanecimento da ordem de 34%, 36% e 49% do valor inicial, respectivamente. Contudo é possível verificar que o sinal OSL alcança uma estabilidade para o coentro e o cominho, após o dia 5, e para a erva - doce, após o dia 19.

Para o orégano, o sinal OSL apresenta um desvanecimento de 50% do valor inicial após o intervalo de 20 dias, porém sem tendência a se estabilizar após este período.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 - Conclusões

O louro em pó, a pimenta branca e a pimenta preta não apresentaram sinal OSL e, portanto, a técnica OSL não pode ser aplicada a estes condimentos.

Os demais condimentos, coentro, cominho, erva - doce, gengibre e orégano, apresentam sinal OSL quando irradiados. As intensidades do sinal OSL, para um mesmo valor de dose, apresentaram variações entre estes cinco tipos de condimentos. Estas diferenças são explicadas pela variação da composição mineral presente em cada condimento (CRUZ-ZARAGOZA *et. al.*, 2005; PINNIOJA, 1998).

A intensidade do sinal OSL aumenta com a dose absorvida. O orégano apresentou os melhores resultados obtidos para a intensidade de sinal OSL. Em seguida temos o coentro, cominho, erva - doce e gengibre.

Para o valor de dose de 10 kGy, dose utilizada na irradiação de condimentos, a intensidade do sinal OSL não atinge a saturação para todos os condimentos, portanto a irradiação do coentro, cominho, erva-doce, gengibre e orégano pode ser identificada através das técnica OSL.

A intensidade do sinal OSL tem um comportamento linear em função da massa da amostra. Contudo, esta relação não é diretamente proporcional, uma vez que, as amostras dos condimentos possuem diferentes tamanhos de grãos de quartzo que fornecem intensidades diferentes do sinal de OSL (CRUZ-ZARAGOZA *et. al.*, 2005; PINNIOJA, 1998).

O sinal de OSL para o gengibre se manteve estável no intervalo de 20 dias. Para o coentro, cominho, erva doce e orégano, após período de 20 dias, o sinal OSL sofreu desvanecimento da ordem de 34%, 36%, 49% e 50% do valor inicial, respectivamente. Contudo é possível verificar que o sinal OSL alcança uma estabilidade para o coentro e o cominho, após o 5º dia, e

para a erva-doce, após o 19º dia. Para o orégano, o sinal OSL não tem tendência a se estabilizar após este período.

A principal vantagem da utilização da técnica OSL em amostras orgânicas é não ser necessária a separação da parte polimineral da orgânica, portanto, esta técnica pode ser utilizada em amostras comerciais sem a necessidade de nenhum tratamento.

Os resultados obtidos mostram que a técnica OSL pode vir a ser utilizada como um método para identificar a irradiação destes condimentos (análise qualitativa) e também para estimar a dose utilizada (análise quantitativa) através da obtenção de curvas de calibração, desde que seja conhecido o intervalo de tempo entre a irradiação e leitura, para se determinar a influência do desvanecimento do sinal.

Este trabalho fornece subsídios para o desenvolvimento de um protocolo para identificação de alimentos irradiados utilizando a técnica OSL. Abaixo seguem alguns dos requisitos:

- Deve-se levar em consideração o tempo entre a irradiação e a medição para determinação da dose;
- As pastilhas devem ser feitas, para um mesmo condimento, sob as mesmas condições de massa, pressão e diâmetro.
- As amostras devem ser coletadas protegidas da luz e da região interna da embalagem;
- A manipulação da amostra deve ser realizada em câmara escura.

Além disso, com base em uma pesquisa bibliográfica, é a primeira vez no Brasil que são feitas pesquisas envolvendo a aplicação da técnica OSL como um método para identificar alimentos irradiados.



## **5.2 - Sugestões para trabalhos futuros**

A técnica OSL pode ser estudada para outros tipos de condimentos, por exemplo: açafrão, canela, hortelã ou para outros tipos de alimentos.

Para a continuação deste trabalho sugere-se determinar a composição mineral de cada um dos condimentos estudados através de um método químico e analisar a intensidade OSL de cada desses minerais.

A intensidade do sinal OSL em função da massa da amostra deve ser estudada analisando a composição mineral e o tamanho dos grãos presentes em cada condimento, com o objetivo de verificar a influência destes minerais no sinal OSL.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2001, *Resolução RDC n° 21, de 26 de Janeiro de 2001*, Brasil.

ALMEIDA, A. P. G., 2006, *Avaliação da Influência do Processo de Irradiação em utilizando a Técnica de Difração de Raios X*. 2006. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BERNARDES, D. M. L., 1996, *Avaliação de métodos de identificação de especiarias e vegetais desidratados submetidos à radiação gama*. Tese de Doutorado, IPEN, São Paulo, SP, Brasil.

BØTTER - JENSEN, L., McKEEVER S W. S., WINTLE A. G., 2003, *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*, 1 ed. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.

CALDERON, T., 1999, *Dosimetría Retrospectiva en Alimentos Irradiados*, Memorias de II Conferencia Internacional/XII Congreso Nacional Sobre Dosimetría de Estado Sólido, México.

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA, 2007, *Efeito nos Alimentos*. Disponível em: <http://www.cena.usp.br/irradiacao/efeitos.htm>. Acesso em 18 dez 2014 (CENA/USP).

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA, 2005, *Irradiação de Alimentos*. Disponível em: <http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaoalimentos.htm>. Acesso em 18 dez 2014 (CENA/USP).

CHAUHAN, S. K.; KUMAR, R., NADANASABAPATHY, S. *et al.*, 2009, *Detection Methods for Irradiated Foods*, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol. 8, pp. 4-16.

COSTA, M. N., 1976, *Irradiação de Alimentos*. CNEN, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COUTO, R. R., SANTIAGO, A. J., 2010, *Radioatividade e Irradiação de Alimentos*. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol 12, nº2, p: 194-215.

CRUZ-ZARAGOZA, E., FURETTA, C., TEUFFER, C. *et al.*, 2005, *Thermoluminescence Characteristics of Oregano and Páprica*. XVII Congreso Nacional sobre Dosimetría de Estado Sólido. Zacatecas, México.

DTU NUTECH, 2014, *Guide to "The Risø TL/OSL Reader"*, Denmark.

FURETTA C., 2010, *Handbook of Thermoluminescence*, World Scientific Publishing.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2002, *Dosimetry for Food Irradiation*, Technical Reports Series n° 409. Vienna, IAEA.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1991, *Analytical Detection Methods for Irradiated Foods (a Review of the Current Literature)*, Technical Documents n° 587, Vienna, IAEA.

KUME, T., MASAKAZU F., SETSUKO T. *et al.*, 2009, *Status of food irradiation in the world*, *Radiation Physics and Chemistry*, 78: 222–226.

LARSEN N. A., 1999, *Dosimetry Based on Thermally and Optically Stimulated Luminescence*, Academic Dissertation, University of Copenhagen, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.

LIEBER, H., 1905, *U. S. Patent 788480*.

MARIN, A. V., 2010, *Caracterização de um Sistema Dosimétrico baseado na Técnica de Luminescência Ópticamente Estimulada para Uso em Dosimetria In Vivo em Radioterapia*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MANGIACOTTI, M., CHIARAVALLE A. E., MARCHESANI, G. *et al*, 2013, *Official checks by an accredited laboratory on irradiated foods at an Italian market*, FoodControl, Vol. 33, pp. 307-312.

McKEEVER S. W. S., MOSCOVITCH M., TOWNSEND P. D., 1995, *Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses*, Nuclear Technology Publishing, Ashford, England.

MINCK, F., 1896, *Zur Frage über die Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen auf Bacterien und ihre eventuelle therapeutische Verwendbarkeit*. Münchener Medicinische Wochenschrift 43 (5), pp 246-248.

NASCIMENTO, L. F., 2007, *Dosimetria usando Luminescência Ópticamente Estimulada: Aplicações, Propriedades Físicas e Caracterização de Materiais Dosimétricos*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

PINNIOJA, S., 1998, *Thermoluminescence Method for Detection of Irradiated Food*, Academic Dissertation, University of Helsinki, Helsinki, Finland.

PRECIADO, S., MELÉNDREZ R., AGÚNDEZ - ARVIZU Z. *et al*, 2003, *Detección de Hierbas y Especies Irradiadas Mediante Luminiscencia Ópticamente Estimulada*, Memorias de VI Conferencia Internacional/XVI Congreso Nacional Sobre Dosimetría de Estado Sólido, México.

SILVA JUNIOR, E. A., 2002, *Manual de controle higiênico-sanitário em alimentos*. 5.ed. . Livraria Varela, São Paulo, Brasil.

SOUSA, L. O., 2009, *Caracterização de Sistema Dosimétrico de Luminescência Ópticamente Estimulada (OSL) para Doses Liberadas na Cobaltoterapia*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

STEFANOVA, R, VASILEV, N. V., SPASSOV, S. L., 2010, *Irradiation of Food, Current Legislation Framework, and Detection of Irradiated Foods; Food Anal. Methods*, Vol. 3, pp. 225–252.

## **ANEXO**

### **RESOLUÇÃO ANVISA – RDC Nº 21 DE 26 DE JANEIRO DE 2001**

**D.O de 29/1/2001**

A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária no uso da atribuição que lhe confere o art. 11, inciso IV, do Regulamento da ANVISA aprovado pelo Decreto 3029, de 16 de abril de 1999, em reunião realizada em 24 de janeiro de 2001,

considerando a necessidade de constante aperfeiçoamento das ações de controle sanitário na área de alimentos visando a proteção à saúde da população;

considerando a necessidade de atualizar, harmonizar e consolidar as normas e regulamentos técnicos relacionados a alimentos;

considerando que os controles fitossanitário e zoonosológico, estão sujeitos aos critérios estabelecidos pela autoridade competente do Ministério da Agricultura;

considerando os estudos atualizados sobre aplicação da irradiação no tratamento sanitário de alimentos.

adotou a seguinte Resolução de Diretoria Colegiada e eu, Diretor-Presidente, Substituto, determino sua publicação.

Art. 1º Aprovar o REGULAMENTO TÉCNICO PARA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, constante do Anexo desta Resolução.

Art. 2º As empresas têm o prazo de 180 (cento e oitenta) dias a contar da data de publicação deste Regulamento para se adequarem ao mesmo.

Art. 3º O descumprimento aos termos desta Resolução constitui infração sanitária sujeita aos dispositivos da Lei n.º6.437, de 20 de agosto de 1977 e demais disposições aplicáveis.

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 5º Ficam revogadas as Portaria n.º 09 DINAL/MS de 8 de março de 1985 e Portaria n.º 30 de 25 de setembro de 1989.

*LUIS CARLOS WANDERLEY LIMA*

## ANEXO - REGULAMENTO TÉCNICO PARA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

### 1. ALCANCE

#### 1.1. Objetivo:

Estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação de alimentos comistas à qualidade sanitária do produto final.

#### 1.2. Âmbito de aplicação

Este Regulamento se aplica a todos os alimentos tratados por irradiação.

### 2. DESCRIÇÃO

#### 2.1. Definições

##### 2.1.1. Irradiação de alimentos

Processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e ou tecnológica.



### 2.1.2. Alimento irradiado

É todo alimento que tenha sido intencionalmente submetido ao processo de irradiação com radiação ionizante.

### 2.1.3. Radiação ionizante

Qualquer radiação que ioniza átomos de materiais a ela submetidos. Para efeito deste Regulamento Técnico serão consideradas radiações ionizantes apenas aquelas de energia inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade no alimento irradiado.

### 2.1.4. Dose absorvida

Quantidade de energia absorvida pelo alimento por unidade de massa.

### 2.1.5. Irradiadores

Equipamentos utilizados para irradiar alimentos.

## 2.2. Designação

A denominação dos alimentos tratados por irradiação é a designação do alimento convencional de acordo com a legislação específica.

## 3 REFERÊNCIAS

3.1. BRASIL, Decreto n.º 72.718, de 29 de agosto de 1973, publicada no Diário Oficial da União de 30 de agosto de 1973.

3.2. BRASIL, Lei n.º 7.394, de 29 de outubro de 1985, publicada no Diário Oficial da União de 30 de outubro de 1985.

3.3. BRASIL, Portaria SVS/MS n.º 326, de 30 de julho de 1997, publicada no Diário Oficial da União de 01 de agosto de 1997.

3.4. Codex STAN 106-1983 Normas Gerais do Codex para Alimentos Irradiados.

3.5. Codex CAC/RCP 19-1979 Código Internacional de Práticas recomendadas para o funcionamento de instalações utilizadas para o tratamento de alimentos

3.6. Relatório n.º 890 da Série de relatórios da Organização Mundial da Saúde Irradiação com altas doses: salubridade de alimentos irradiados com doses acima de 10 kGy, Genebra, 1999.

3.7. Documento preliminar de Norma para Boas Práticas de Irradiação de Alimentos ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation)

## 4 REQUISITOS

### 4.1. Instalações e controle do processo

4.1.1. O tratamento dos alimentos por irradiação deve ser realizado em instalações licenciadas pela autoridade competente estadual ou municipal ou do Distrito Federal mediante expedição de Alvará Sanitário, após autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear e cadastramento no órgão competente do Ministério da Saúde.

4.1.2. Estabelecer e implementar as Boas Práticas de Irradiação de acordo com o que determina a legislação e apresentar o Manual de Boas Práticas de Irradiação às autoridades sanitárias, no momento da inspeção e ou quando solicitado.

4.1.3. As instalações devem ser projetadas de modo a cumprir os requisitos de segurança radiológica, eficácia e boas práticas de manuseio.

4.1.4. As instalações devem ser dotadas de pessoal qualificado que possua capacitação e formação profissional apropriada, e atender às exigências da legislação vigente.

4.1.5. Para aferição do nível de radiação nas instalações e dependências em que se processe o tratamento de alimentos por irradiação é obrigatória a adoção de registro dosimétrico quantitativo, sem prejuízo de outras medidas de controle estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

4.1.6. Os locais e registros são inspecionados pelas autoridades competentes.

4.1.7. A irradiação, assim como qualquer outro processo de tratamento de alimentos, não deve ser utilizada em substituição às boas práticas de fabricação e ou agrícolas.

#### 4.2. Fontes de radiação

As fontes de radiação são aquelas autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, na conformidade das normas pertinentes, a saber:

- a) Isótopos radioativos emissores de radiação gama: Cobalto 60 e Césio - 137;
- b) Raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5 MeV;
- c) Elétrons gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV.

#### 4.3. Dose absorvida

Qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas as seguintes condições:

- a) A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida;
- b) A dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

4.4. A embalagem deve ter condições higiênicas aceitáveis, ser apropriada para o procedimento de irradiação, estar de acordo com a legislação vigente e aprovada pela autoridade sanitária competente.

4.4.1. Nos casos em que não estejam previstas em legislação nacional, as embalagens em contato direto com o alimento devem ser aquelas relacionadas pela Organização Mundial da Saúde, em documento próprio da OMS e submeter-se previamente aos critérios de inclusão de nova embalagem na legislação brasileira.

4.5. Na rotulagem dos Alimentos Irrradiados, além dos dizeres exigidos para os alimentos em geral e específico do alimento, deve constar no painel principal: "ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO", com as letras de tamanho não inferior a um terço (1/3) do da letra de maior tamanho nos dizeres de rotulagem.

4.5.1. Quando um produto irradiado é utilizado como ingrediente em outro alimento, deve declarar essa circunstância na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do mesmo.

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1. A indústria que irradiar alimentos deve fazer constar ou garantir que conste a indicação de que o alimento foi tratado pelo processo de irradiação:

5.1.1 Nas Notas Fiscais quando os alimentos estiverem a granel;

5.1.2 Nas Notas Fiscais e nas embalagens quando os alimentos já estiverem embalados, de acordo com o item 4.5 Rotulagem.

5.2. Nos locais de exposição à venda de produtos a granel irradiados deve ser afixado cartaz, placa ou semelhante com a seguinte informação: "ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO".

5.3. Exceto para os alimentos de baixo conteúdo hídrico irradiados com objetivo de combater a re-infestação de insetos, os alimentos irradiados não devem ser submetidos a irradiação.

5.4. Para efeitos desse Regulamento, não se consideram alimentos submetidos a re-irradiação quando:

a) se irradia com outra finalidade tecnológica alimentos preparados a partir de materiais que foram irradiados;

b) se irradia alimentos com conteúdo de ingredientes já irradiados anteriormente em quantidade inferior a 5% do conteúdo total em massa;

c) a dose total de radiação ionizante requerida para conseguir o efeito desejado se aplica nos alimentos de modo fracionado como parte de um processo destinado a obter um fim tecnológico específico.

5.5. Em situações especiais, como nos casos de surtos, visando assegurar a inocuidade do alimento sob o ponto de vista de saúde pública, a autoridade competente do Ministério da Saúde pode definir a dose mínima utilizada para irradiação de um determinado alimento.

5.6. Nas situações de controle fitossanitário e zoonossanitário, poderão ser estabelecidos pela autoridade federal competente níveis (doses) mínimas de radiação ionizante considerando o tipo de produto, a finalidade e objetivo(s) pretendido(s).

5.7. Qualquer outra situação que não se enquadre nas disposições deste Regulamento Técnico deve obrigatoriamente ser submetida à análise da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

(Of. EI. nº 33/2001)

Fonte: [http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21\\_01rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm)