



**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESTUDO DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM TOMATES  
*IN NATURA (LYCOPERSICUM ESCULENTUM MILL)*  
E NO TEOR DE LICOPENO DO MOLHO**

**ADRIANA DIAZ TONI FABBRI**

**Tese apresentada como parte dos  
requisitos para obtenção do Grau  
de Mestre de Ciências na Área de  
Tecnologia Nuclear – Aplicações.**

**Orientadora:  
Dra. Susy Frey Sabato**

**SÃO PAULO**

**2009**

Dedico ao amor da minha vida  
e aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Susy Frey Sabato, meu especial agradecimento pela orientação segura, total apoio e incentivo, além da amizade durante todo o decorrer deste trabalho.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao IPEN, por todo o suporte prestado, além dos funcionários que de uma maneira ou de outra contribuíram para o seguimento desta pesquisa.

Ao Laboratório de Análise de Alimentos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, pelo apoio na realização das análises cromatográficas.

À Professora Dra. Lígia B.A. Muradian pela parceria neste trabalho

À Dra. Tatiana Beatrís Tribess pela amizade e pela cooperação.

À Doutoranda Luciana Yoshime Tedesco por toda ajuda e paciência na realização das análises.

A todos que me compreenderam e me apoiaram para que este trabalho fosse concretizado.

# **ESTUDO DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM TOMATES IN NATURA (*LYCOPERSICUM ESCULENTUM* MILL) E NO TEOR DE LICOPENO DO MOLHO**

**Adriana Diaz Toni Fabbri**

## **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da radiação ionizante em tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill) e paralelamente avaliar a influência da irradiação sobre o teor de licopeno de um molho preparado com estes frutos irradiados. Para tanto os tomates foram submetidos a cinco tratamentos: controle, T1 (0,25 kGy), T2 (0,5 kGy), T3 (1,0 kGy) e T4 (2,0 kGy) sendo avaliados nos 3, 6, 9, 12, 15 e 20 dias após irradiação, para as seguintes análises: maturação, textura, cor, sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável total e massa. Foram realizadas quantificações de licopeno em tomates *in natura* e no molho por cromatografia em coluna aberta em função do amadurecimento dos mesmos. Os resultados demonstraram que somente a massa não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Os tratamentos 1 e 2 demonstraram ser efetivos para o retardo do amadurecimento e manutenção da textura mais firme ( $p < 0,05$ ). Ao passo que o T4 ocasionou reações químicas na estrutura do tomate, levando-o a amadurecer precocemente em função da degradação das substâncias pécticas. A realização de um molho preparado a partir de tomates irradiados a 0.25 kGy, não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) quando comparado ao controle. Entretanto, não indicou uma degradação do licopeno, como as doses de 1.0 e 2.0 kGy. Desta forma pode-se concluir que baixas doses são eficazes para manutenção do pH, firmeza, retardo da senescência, massa e ainda, além de não degradarem o principal composto bioativo do tomate: o licopeno, sugerem uma maior biodisponibilidade deste, em função da aplicação da radiação.

# **STUDY OF RADIATION IN FRESH TOMATOES (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL) AND IN THE LEVELS OF SAUCE LYCOPENE**

**Adriana Diaz Toni Fabbri**

## **ABSTRACT**

The purpose of the present study was to determine the effects of ionizing radiation in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill) and at the same time to evaluate the influence of irradiation on the content of lycopene in a sauce made with these fruits irradiated. For this reason tomatoes were subjected to five treatments: control, T1 (0.25 kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) and T4 (2.0 kGy) and evaluated at 3, 6, 9, 12, 15 and 20 days after irradiation, for the following analysis: maturity, texture, color, soluble solids, pH, acidity and total mass. Measurements were made of lycopene in fresh tomatoes and sauce by open column chromatography according to the ripening of them. The results showed that only the mass was not significantly different ( $p > 0.05$ ). Treatments 1 and 2 proved to be effective in delaying the maturation and in the maintenance of firm texture ( $p < 0.05$ ). While T4 caused chemical reactions in the structure of tomato, compelling it to mature earlier because of pectin degradation. The completion of a sauce made from tomatoes irradiated to 0.25 kGy, didn't show a significant difference ( $p > 0.05$ ) when compared to control. However, it didn't indicate lycopene degradation, as the doses of 1.0 and 2.0 kGy. Thus we can conclude that low doses are effective for maintaining pH, firmness, delayed senescence, mass and, in addition to not degrading the major bioactive compound of tomato, lycopene, suggest a higher bioavailability of this one, depending on the radiation application.

## SUMÁRIO

### *Página*

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
3.1. <i>Origem</i> .....	13
3.2. <i>Importância</i> .....	14
3.3. <i>Perdas pós-colheita</i> .....	15
3.4. <i>O tomate e suas características</i> .....	16
3.5. <i>Propriedades físico-químicas</i> .....	18
3.5.1. <i>Cor e maturação</i> .....	19
3.5.2. <i>Sólidos Solúveis Totais (SST)</i> .....	19
3.5.3. <i>pH</i> .....	20
3.5.4. <i>Acidez Titulável Total (ATT)</i> .....	21
3.5.5. <i>Textura</i> .....	22
3.5.6. <i>Massa fresca</i> .....	23
3.6. <i>Carotenóides</i> .....	24
3.6.1. <i>Propriedades</i> .....	25
3.6.2. <i>Estrutura</i> .....	25
3.6.3. <i>Licopeno</i> .....	27
3.6.3.1. <i>Biodisponibilidade</i> .....	27
3.6.3.2. <i>Metodologias empregadas para a quantificação de licopeno</i> .....	29

3.7. Pragas .....	31
3.8. Radiação em Alimentos .....	33
3.8.1. Efeitos da Radiação em Frutos .....	34
3.8.2.1. Irradiação em Tomates .....	35
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
4.1. Materiais .....	37
4.2. Fracionamento do lote e tratamento: irradiação dos tomates .....	37
4.3. Acondicionamento .....	38
4.4. Análises .....	38
4.4.1. Parte Experimental I – Análises Físico-Químicas no Tomate in natura .....	39
4.4.1.1. Maturação .....	40
4.4.1.2. Textura (firmeza) .....	41
4.4.1.3. Cor (colorímetro) .....	41
4.4.1.4. Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) .....	42
4.4.1.5. pH .....	42
4.4.1.6. Acidez titulável total (% de ácido cítrico) .....	43
4.4.1.7. Avaliação de Massa Fresca .....	43
4.4.2. Parte experimental II – análises de carotenóides .....	44
4.4.2.1. Primeira etapa – extração .....	44
4.4.2.2. Segunda etapa – cromatografia por coluna aberta .....	46
4.4.2.3. Terceira etapa – quantificação em espectrofotômetro .....	48
4.4.2.4. Quarta Etapa – quantificação dos carotenóides .....	48
4.5. Molho de tomate .....	48

4.5.1. Preparo do molho de tomate .....	49
4.5.2. Determinação de licopeno no molho .....	49
4.6. Análise estatística .....	50
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
5.1. Análises físico-químicas .....	51
5.1.1. Maturação.....	51
5.1.2. Textura (firmeza) .....	55
5.1.3. Cor (colorimetria).....	57
5.1.4. Sólidos solúveis totais .....	61
5.1.5. pH.....	63
5.1.6. Acidez titulável total .....	67
5.1.7. Avaliação da massa .....	69
5.2. Análises de carotenóides .....	70
5.2.1. Tomates in natura e molho de tomate .....	70
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) é um dos produtos hortícolas mais largamente cultivados no Brasil (VIEITES, 1998). Possui uma grande importância econômica tendo em vista os constantes aumentos na demanda, tanto do produto na forma *in natura* como industrializado. É uma planta pertencente à família das solanáceas cuja espécie básica possui denominação científica de *Lycopersicum esculentum* Mill (BORGUINI, 2003).

O fruto do tomate é a parte comestível, apresentando excelente palatabilidade nas diversas formas em que é consumido. Estudos recentes recomendam o seu consumo, devido à sua rica constituição nutricional: vitaminas, minerais, flavonóides e carotenóides, destacando-se o licopeno. O licopeno é tido como um carotenóide vermelho encontrado predominantemente em tomates e em algumas frutas, tais como goiaba, melancia, mamão e pitanga, sendo o tomate e seus derivados as maiores fontes do carotenóide (DJURIC & POWELL, 2001).

Acredita-se que consumo de alimentos ricos em licopeno, possa ser benéfico em algumas patologias, já que age como agente quimiopreventivo antioxidante. Tomando-se por base que o licopeno encontra-se no plasma e nos tecidos do corpo humano, uma maior concentração deste no sangue, estaria associado a um menor risco de câncer, principalmente o de próstata (AHUJA et al., 2006; GARCIA-ALONZO et al., 2009).

Entretanto, o problema que mais afeta a cultura do tomate é a curta vida útil na pós-colheita, por causa da sua suscetibilidade aos diversos tipos de pragas (MOREIRA et al., 2005). Em decorrência deste fator, utiliza-se em larga escala agrotóxicos e fertilizantes, desconsiderando os efeitos nocivos e residuais ao próprio tomate, que acaba sofrendo um desequilíbrio de seus nutrientes, interferindo na quantidade de licopeno (FERREIRA, 2004). Além disso, a utilização desta prática não fornece a garantia de que os tomates estejam livres de pragas, devido à resistência desenvolvida contra os pesticidas.

Diversas espécies de insetos atacam o tomateiro e os danos oscilam de acordo com a intensidade do ataque. Algumas delas danificam os frutos a ponto de inutilizá-los para a comercialização, outras são transmissoras de viroses. O controle químico de inseticidas, prática mais utilizada pelos agricultores, promove uma redução na população de pragas. Contudo, existem diversas pragas como, por exemplo, a traça-do-tomateiro (BRANCO et al., 2001), que apresentam maior dificuldade no controle, em razão de sua

resistência aos agrotóxicos. Isso pode implicar numa maior quantidade de aplicação, destinada à eliminação da praga, ocasionando em ineficácia e na grande probabilidade de ocorrência residual de agrotóxicos.

Tomando-se por base que a utilização da energia das radiações ionizantes em alimentos, têm apresentado diversos resultados positivos nos campos de aplicação, tais como no controle de infestação de insetos, a irradiação pode ser apontada como uma solução potencial para este problema (CASTRICINI et al., 2002).

A radiação pode ser definida como sendo a emissão e propagação da energia ou partículas através do espaço ou matéria e irradiação é o processo de aplicação de energia radiante a um alvo qualquer, no caso, um determinado alimento. (FRANCO & LANDGRAF, 1996).

O IDIDAS (*Internacional Database on Insect Disinfestation and Sterilization*) (2009) relaciona doses típicas para eliminar ou esterilizar diversas pragas comuns aos tomates. Entretanto, as pragas lá citadas não são as comuns no Brasil. Desta forma, neste trabalho serão estudadas doses numa determinada faixa que atenda tanto ao IDIDAS (2009), bem como a legislação britânica na qual a dose permitida se estende até 2 kGy (*Official Journal of the EU*, 2003).

A utilização da energia das radiações ionizantes em alimentos atinge uma grande diversidade em áreas de pesquisa. Nos últimos anos, têm sido apresentado os benefícios da irradiação em diferentes campos de aplicação, tais como: controle da infestação de insetos, retardo do amadurecimento de frutos, redução da carga microbiana, inibição de brotamento em bulbos e tubérculos, entre outros.

Além de a irradiação promover tais benefícios, há a possibilidade de extração de uma maior quantidade de licopeno, em função da aplicação da radiação. De acordo com Castricini et al.(2002), o uso da radiação gama no tomate, fez com que o mesmo apresentasse maior firmeza em relação à amostra controle, mostrando-se eficaz na sua conservação pós-colheita, além de demonstrar uma aceleração no processo de acúmulo de carotenóides. Para a quantificação destes carotenóides são utilizadas principalmente duas técnicas: a Cromatografia por Coluna Aberta (CCA) e a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) (PENTEADO, 2003).

Segundo Kimura e Rodriguez-Amaya (2003) a cromatografia em coluna aberta (CCA), é uma excelente técnica para determinação quantitativa e muito útil para separação e purificação de carotenóides para serem utilizados como padrões nos métodos por

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), já que esta não possui um padrão definido.

A CLAE é uma técnica com maior poder de resolução, maior reprodutibilidade com coluna reutilizável, realizada sob condições controladas e possibilita a análise de um grande número de amostras em menor tempo. Entretanto, apresenta grande dificuldade em se obter e manter padrões puros (PENTEADO, 2003).

Em vista de diversos estudos existe uma equivalência de resultados entre a CCA e a CLAE. Porcu e Rodriguez-Amaya (2006), ao analisar amostras de acerola, mostraram que o conteúdo de  $\beta$ -caroteno obtido pelos métodos de cromatografia em coluna aberta e cromatografia líquida de alta eficiência não diferiram significativamente, atestando a confiança de ambos os métodos para quantificação.

Notadamente, Almeida-Muradian et al. (1998) também observaram equivalência entre os métodos de CCA e CLAE ao analisar amostras de vegetais folhosos (n = 5).

O mesmo foi observado por Adewusi e Bradbury (1993) ao analisar o conteúdo de carotenóide na mandioca, concluindo em seu estudo que o método de CCA é adequado para determinação de carotenóides em alimentos, visto que não houve diferença dos resultados quando analisados por CLAE.

De acordo com Rodriguez-Amaya (1999), um tomate *in natura* apresenta em média 31  $\mu\text{g}$  licopeno/g do fruto, ao passo que um purê ou molho de tomate apresenta 133  $\mu\text{g/g}$  produto e uma pasta de tomate apresenta 164  $\mu\text{g/g}$  produto.

Segundo Rodriguez-Amaya (2004), molhos de tomate apresentam maior biodisponibilidade de licopeno em função do processamento térmico, que causa o rompimento dos cromoplastos, permitindo uma maior extração deste. Entretanto, poucas literaturas são apresentadas em relação à sua quantificação quando estes são submetidos à radiação ionizante ou ainda, quando são preparados a partir de tomates irradiados. Mediante a isto, foram estudados tais aspectos mais detalhadamente, tendo em vista a descoberta de possíveis benefícios que possam vir contribuir com dados novos e relevantes para a área.

## **2. OBJETIVOS**

Estudar os efeitos de diferentes doses de radiação ionizante sobre as características físico-químicas de tomates *in natura* e sobre teor de licopeno de tomates *in natura*, bem como a quantificação de licopeno em um molho preparado a partir dos tomates irradiados.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Origem

O tomate é um fruto originário da parte ocidental das Américas Central e do Sul, particularmente nas regiões andinas do Peru, Bolívia e Equador (FIG.1) (EMBRAPA, 1993; FONTES & SILVA, 2002). Obteve o início do seu cultivo no México, de onde foi levado para a Europa, na primeira metade do século XVI. Durante um longo período foi considerado venenoso, sendo cultivado apenas como planta ornamental. Em 1554 constatou-se o primeiro registro da planta na Itália: um cultivar com frutos amarelados, que deu origem ao nome *pomi d'oro* (maçã dourada) (GOULD, 1992).



Fonte – American Journal of Botany, 2001.

FIGURA 1 – Distribuição geográfica do tomateiro na parte ocidental da América do Sul.

No século XVIII já era largamente consumido em vários países europeus. No Brasil, a cultura foi introduzida praticamente pelos imigrantes italianos, na virada do século XIX, porém somente para fins de consumo *in natura* (GIORDANO & RIBEIRO, 2000).

Os tomateiros se desenvolvem em uma ampla gama de habitats, com dispersão geográfica variando desde o nível do mar até uma altitude de 3.300m. Estes habitats incluem desde a costa árida do Pacífico até as regiões montanhosas dos Andes (CAMARGO, 1992).

É uma planta pertencente à família das solanáceas cuja espécie básica possui denominação científica de *Lycopersicum esculentum* Mill (BORGUINI, 2003). O nome Mill veio de MILLER que, em 1754, foi o primeiro a propor a classificação botânica e o nome de *Lycopersicum* (MINAMI & HAAG, 1989).

### **3.2. Importância**

Por ser um fruto de grande relevância, o tomate registra o segundo maior volume de produção e consumo do mundo, na categoria de vegetais, sendo apenas precedido pela batata (FAO, 2009).

A China atualmente é responsável por 34.35% da produção de tomates mundial, o que situa o país em primeiro lugar. Os EUA são o segundo maior produtor, com 8.80% da produção, seguido pela Turquia e pela Índia, com 7.87% da e 6.80% respectivamente. O Brasil aparece em nono lugar com 2.67% (FAO, 2009).

Em relação à produção da América do Sul, o Brasil encontra-se numa posição de destaque, ocupando a primeira colocação e respondendo por 52.42% da produção sul-americana. O Chile, segundo maior produtor, é responsável por 19.8%, a Argentina com 10.6% é o terceiro maior produtor e a Colômbia com 6.1% da produção é o quarto. Nas últimas safras a participação destes quatro países na composição da safra sul-americana vem se mantendo praticamente inalterada, apresentando variações decimais nos índices (FAO, 2009).

Dentro da produção nacional os estados que mais se destacam são: Goiás com 26.27%, São Paulo com 22.29% e Minas Gerais apresentando 13.37% (TAB.1). A maior área cultivada de tomate industrial está na região Centro-Oeste e Sudeste (EMBRAPA, 2009).

TABELA 1 – Principais estados produtores de tomate no Brasil.

<b>Estado</b>	<b>Produção (ton.)</b>	<b>Área (hec.)</b>	<b>(ton/hec.)</b>
Goiás	802.128	9.830	81.60
São Paulo	713.483	11.340	62.92
Minas Gerais	421.765	6.858	61.50
Paraná	310.418	4.723	65.72
Bahia	219.735	5.506	39.91
Rio de Janeiro	195.065	2.543	76.71
Pernambuco	165.428	4.025	41.10
Santa Catarina	136.764	2.308	59.26
Espírito Santo	112.467	1.701	66.12
Rio Grande do Sul	104.979	2.409	43.58
Ceará	97.295	1.962	49.59
Distrito Federal	26.563	396	67.08
Paraíba	16.596	536	30.96
Rio Grande do Norte	8.553	310	27.59
Roraima	5.268	439	12.00
Maranhão	5.138	253	20.31
Sergipe	4.708	286	16.46
Mato Grosso do Sul	3.979	73	54.51
Mato Grosso	3.318	187	17.74
Amazonas	2.806	590	4.76

Fonte – EPAGRI, 2008.

### 3.3. Perdas pós-colheita

O termo “perdas” refere-se ao desaparecimento ou não utilização do alimento após a colheita, em função da falta de comercialização ou do consumo do produto em tempo hábil, podendo ser mensurável em termos quantitativos (perda de peso, perdas por manuseio inadequado); qualitativos (perdas no sabor e aroma; deterioração na textura e aparência – pragas), e perdas nutricionais (decorrente de reações metabólicas). O efeito individual ou combinado dessas perdas pode resultar na deterioração do valor comercial do produto (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A cultura do tomate é extremamente susceptível aos agentes causadores de doenças do tomateiro: bactérias, fungos e vírus, bem como diversos tipos de pragas. Isto acaba gerando uma redução da produtividade e da qualidade do produto (EMBRAPA, 2009).

Segundo Ferreira et al. (2004) as principais causas dos danos físicos em tomates ocorrem quando o tomate ainda está na planta, em função do ataque de insetos. Segundo os autores as perdas chegam a 21% impossibilitando a comercialização.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (2009) e a Organização Mundial de Saúde (OMS) (1995), a contaminação por microorganismos, insetos e roedores causam doenças alimentares em milhões de pessoas e a perda de 25% da produção anual de alimentos em todo mundo. No Brasil, isto representaria uma perda de aproximadamente 30 milhões de toneladas na safra agrícola, estimada em 120 milhões de toneladas, causando prejuízos da ordem de R\$ 21 bilhões ao país.

### **3.4. O tomate e suas características**

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) é um fruto macio, sendo caracterizado por uma polpa suave, pele fina e muitas sementes (AJAVI & OLASEHINDE, 2009).

As características organolépticas e nutricionais do tomate dependem de vários componentes físico-químicos dos frutos. Os teores destes componentes conferirão aos frutos certos atributos, que responderão pela maior ou menor aceitação destes, seja pelo consumidor, seja pela indústria (ESPINOZA, 1991).

Para CHITARRA & CHITARRA (1990), os frutos e hortaliças têm importante papel na alimentação humana, principalmente por serem excelentes fontes de vitamina, minerais e fibra dietética. Segundo os autores, o valor nutritivo muda com o avanço da maturação, tornando-se maior, embora ocorra variação na proporção dos nutrientes. Os componentes mais abundantes em frutos e hortaliças são a água e os carboidratos. Do ponto de vista nutricional, são considerados as vitaminas e os minerais, como também os açúcares solúveis (frutos), e polissacarídeos (amido, em alguns frutos e hortaliças), como fontes energéticas. Outros polissacarídeos (celulose, hemicelulose e lignina) têm importância por constituírem as fibras dietéticas.

O tomate possui em sua composição aproximadamente de 93% a 95% de água, conforme demonstra a TAB. 2. Nos 5% a 7% restantes encontram-se compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos (GIORDANO & RIBEIRO, 2000) (TAB. 3).



TABELA 2 – Composição nutricional do tomate em 100 gramas.

<b>Nutriente</b>	<b>Tomate fresco</b>
Água, (%)	93.5
Calorias, (kcal)	22.0
Proteína, g	1.10
Carboidrato	
total, g	4.70
fibra, g	0.50
Ácido Ascórbico, mg	23.0

FONTE – GOULD, 1992.

TABELA 3 – Composição dos frutos maduros de tomate (% na matéria seca).

<b>Composição</b>	<b>(%) matéria seca</b>
<b>Açúcares</b>	
Glicose	22.0
Frutose	25.0
Sacarose	1.00
<b>Sólidos insolúveis em álcool</b>	
Proteínas	8.00
Substâncias pécicas	7.00
Hemicelulose	4.00
Celulose	6.00
<b>Ácidos orgânicos</b>	
Ácido cítrico	9.00
Ácido málico	4.00
<b>Minerais</b>	
Principalmente: K, Ca, Mg e P	8.00
<b>Outros</b>	
Lipídios	2.00
Aminoácidos dicarboxílicos	2.00
Pigmentos	0.40
Ácido ascórbico	0.50
Voláteis	0.10
Outros aminoácidos, vitaminas e polifenóis	1.00

FONTE – GOULD, 1992.

A caracterização físico-química do produto *in natura* consta na TAB. 4. Mediante tais dados, nota-se que o fruto é basicamente composto por açúcares e sais dissolvidos em meio aquoso e sólidos insolúveis, compostos por fibras vegetais como, por exemplo, o material péctico (FENNEMA, 1996).

TABELA 4 – Caracterização físico-química do tomate *in natura*.

<b>Parâmetro</b>	<b>% (porcentagem)</b>	
Sólidos Totais	4.0	– 8.5
Sólidos Solúveis	4.0	– 6.0
Sólidos Insolúveis	0.9	– 1.1
Açúcares totais	2.0	– 3.0
Frutose	1.1	– 1.5
Glicose	1.0	– 1.4
Acidez (ácido cítrico)	0.3	– 0.5
Cloreto de Sódio	0.05	– 0.1
Minerais	0.3	– 0.6
Material péctico	0.17	– 0.23

FONTE – Food Chemistry, 1996.

A importância do tomate, também como alimento funcional é atribuída ao seu principal constituinte bioativo, o licopeno. O crescente interesse na atividade antioxidante do carotenóide licopeno se deve à alegação de que este carotenóide combate os radicais livres, retarda o envelhecimento e pode proteger contra o câncer, mormente o de próstata (WILLCOX, 2003).

O licopeno é um carotenóide que confere a cor vermelha ao tomate (FETT, 2000). Tomates que apresentam uma boa coloração caracterizada pela cor vermelho-intensa possuem teores médios de licopeno em torno de 31 µg licopeno/g tomate (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

### **3.5. Propriedades físico-químicas**

De acordo com GAYET et al. (1995), o tomate é uma das hortaliças que mantêm uma atividade metabólica normal após a colheita, com transformações químicas na sua composição que se processam graças à sua capacidade de absorção do oxigênio do ambiente. Isso promove um aumento na taxa respiratória que pode ocorrer tanto com o fruto preso à planta como após a colheita. Com base nas características respiratórias antes do amadurecimento o tomate é, portanto, um fruto climatérico.

Mediante esta propriedade climatérica no período pós-colheita, o amadurecimento do tomate resulta em uma série de transformações físico-químicas, caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, como: mudança de cor, aparência, firmeza, perda de peso, aumento de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável.

Tais indicadores servem como parâmetro de qualidade do fruto e estão referidos nas subseções a seguir.

### **3.5.1. Cor e maturação**

A mudança de cor do tomate é considerada o primeiro sinal visual para a maturação e colheita do fruto (EMBRAPA, 1993). O fruto pode ser colhido quando apresenta completo desenvolvimento fisiológico - esteja *de vez* - que corresponde ao estágio verde maduro com coloração verde clara (EMBRAPA, 1993) ou verde-cana (FONTES & SILVA, 2002).

No início do amadurecimento, a taxa de respiração do tomate se eleva resultando em uma série de transformações físico-químicas (KLUGE & MINAMI, 1997) caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, tais como: degradação do amido; produção de glicose e frutose; diminuição da clorofila; síntese dos pigmentos beta-caroteno e licopeno; aumento na síntese de etileno; aumento de pectinas solúveis e, conseqüentemente, amolecimento das paredes celulares (FACHIN, 2003).

O amadurecimento é marcado por modificações textuais, associadas ao metabolismo de carboidratos da parede celular, que culminam com a redução da firmeza. À medida que o fruto vai atingindo a sua maturidade, as substâncias pécticas da parede celular vão sendo solubilizadas, transformando a pectina insolúvel (protopectina) em pectina solúvel, resultando na perda de firmeza da polpa. Esse amolecimento ocorre em razão da diminuição das forças coesivas que mantêm as células unidas decorrentes da decomposição da protopectina pela ação das enzimas poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME) (VILAS BOAS et al., 2000; FACHIN, 2003).

Frutos do cultivar Débora foram submetidos à temperatura ambiente de 24°C e ao resfriamento por câmara frigorífica e resfriamento rápido por ar forçado a uma temperatura de 12°C por SANINO et al. (2003). Os resultados preliminares levaram a concluir que o tomate conservado em temperatura ambiente tem uma vida-de-prateleira de cinco dias quando considerado o atributo aparência.

### **3.5.2. Sólidos solúveis totais (SST)**

Os sólidos solúveis totais (SST) medidos por refratometria são usados como índices de açúcares totais em frutas e indicam o grau de amadurecimento. São constituídos

por compostos solúveis em água que representam os açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas (MOURA et al., 2005).

A presença de concentrações adequadas de açúcares solúveis e ácidos orgânicos determina o desenvolvimento do sabor do fruto e afeta diretamente a qualidade do produto (MOURA et al., 2005).

Quanto maior o teor de SST ( $^{\circ}$ Brix) maior é o rendimento quando se trata de tomate industrial e menor gasto de energia no processo de concentração de polpa. Em termos práticos, para cada grau  $^{\circ}$ Brix de aumento na matéria-prima há um incremento de 20% no rendimento industrial (SILVA & GIORDANO, 2000).

Em um estudo realizado pelos autores AZONDALOU et al. (2003) foram avaliados a qualidade de 28 cultivares de tomate de mesa no período de 1997 a 1999 por meio de análise sensorial, teste de consumidor, análise instrumental da textura e SST. Foram obtidos os valores de  $4.3^{\circ}$ Brix a  $5.4^{\circ}$ Brix nas amostras de 1999, levando a uma significativa correlação entre o conteúdo de açúcar total em  $^{\circ}$ Brix com a qualidade global atribuída pelos consumidores. Ao passo que, as amostras avaliadas em 1998 tiveram pouca correlação, atribuída a heterogeneidade dos frutos avaliados.

Em outro estudo realizado por NYALALA & WAINWRIGHT (1998), foi registrado um aumento na quantidade de SST no decorrer do armazenamento, atribuído às reações de amadurecimento que provocam a quebra do amido em açúcares simples e dissolução das matérias pécticas.

O teor de sólidos solúveis no fruto, além de ser uma característica genética do cultivar, é influenciado pela adubação, temperatura e irrigação. Os valores médios de  $^{\circ}$ Brix na matéria-prima recebida pelas indústrias no Brasil têm sido em torno de  $4.5^{\circ}$ Brix (RAUPP et al., 2009).

### **3.5.3. pH**

O termo pH é o símbolo usado para expressar a concentração de íons de hidrogênio de uma solução. A concentração hidrogeniônica é um fator de controle que regula muitas reações químicas e microbiológicas (GOULD, 1992).

A escala do pH vai de 0 a 14. Uma solução neutra tem pH equivalente a 7.0. Um valor menor indica uma solução ácida e um valor acima de 7.0 indica uma solução

alcalina. A escala de pH é logarítmica e não linear. Portanto, um pH de valor 5.0 é 10 vezes mais ácido que um pH = 6.0 (GOULD, 1992).

Em relação ao pH, é desejável um pH inferior a 4.5 para impedir a proliferação de microorganismos, pois valores superiores ao pH de 4.5 requerem períodos mais longos de esterilização da matéria prima em um processamento térmico, ocasionando maior consumo de energia e maior custo de processamento (MONTEIRO et al., 2008).

Tavares & Rodriguez-Amaya (1994), mediram o pH dos frutos de tomate cultivar Santa Clara comercializados em Campinas (SP) e obtiveram valores entre 4.4 e 4.6. SANINO et al. (2003) concluíram que os tomates submetidos à refrigeração apresentaram vida-de-prateleira de 17 dias e menores alterações de pH, °Brix e ácido ascórbico, quando comparados aos armazenados à temperatura ambiente.

Estudos têm demonstrado que o pH decresce significativamente com os primeiros sinais de maturação nos frutos e aumenta levemente com o estágio passado (FERREIRA, 2004). Isso pode ser explicado em consequência da perda de acidez dos frutos que já atingiram a maturação, que adquirem a capacidade de sintetizar ácidos orgânicos (FERREIRA, 2004).

#### **3.5.4. Acidez titulável total (ATT)**

Existem vários ácidos orgânicos no fruto, todavia, o ácido cítrico está presente em concentrações cerca de trinta vezes mais elevadas que os demais e, assim, normalmente a acidez do tomate é expressa como porcentagem de ácido cítrico (NIELSEN, 1998).

O balanço entre acidez e açúcares é extremamente importante do ponto de vista sensorial porque estes compostos são os principais responsáveis pelo sabor característico do tomate (GOULD, 1992). Os açúcares do tomate são constituídos basicamente por glicose e frutose (GOULD, 1992).

De acordo com Chitarra & Chitarra (1990) e Borguini & Silva (2005), os ácidos orgânicos encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres e glicosídeos. Em frutas, os ácidos orgânicos não só contribuem para a acidez como também para o aroma característico.

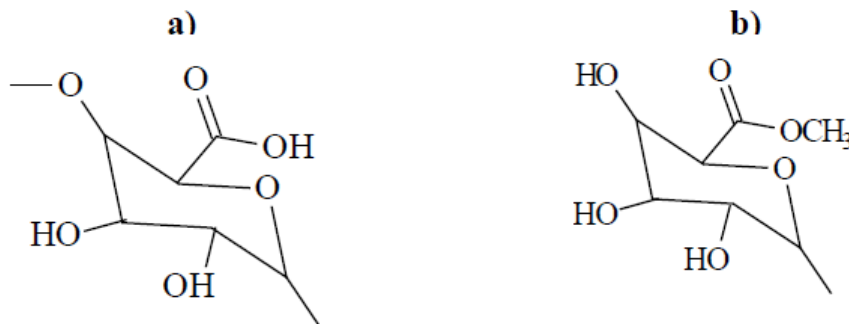
Castricini et al. (2002) obtiveram valores constantes de acidez titulável total para tomates submetidos à diferentes doses de radiação gama e mantidos à temperatura ambiente, variando de 0.14% a 0.33% de ácido cítrico.

### 3.5.5. Textura

De acordo com Chitarra & Chitarra (1990), a firmeza está fortemente correlacionada ao conteúdo de substâncias pécnicas presentes nas frutas e hortaliças. À medida que os frutos amadurecem ocorre degradação das substâncias pécnicas, o que pode ser facilmente observado pelo amolecimento da polpa do tomate.

Os sólidos insolúveis do tomate são constituídos basicamente por fibras como celulose e pectina. Enquanto a celulose é uma fibra presente na membrana celular vegetal, a pectina constitui o material de ligação entre as células do fruto, sendo responsável pela estrutura rígida do fruto inteiro e pela viscosidade dos produtos acabados (GOULD, 1992).

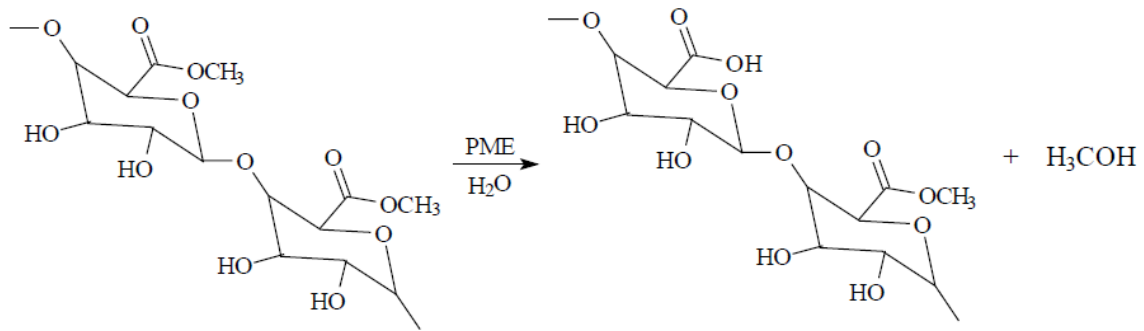
A pectina é um polímero do ácido galacturônico (FIG. 2) formado durante o amadurecimento do fruto. Como a maioria dos materiais poliméricos, apresenta cadeias de diferentes comprimentos e pesos moleculares. Também pode ser esterificada em diferentes graus por grupos metila: as pectinas com baixo grau de esterificação (ácidos pécnicos) e as de elevado grau de esterificação (ácidos pectínicos) (GOULD, 1992; FENNEMA, 1996).



Fonte – PEDRO, 2004.

FIGURA 2 – a) ácido galacturônico e b) éster metílico do ácido galacturônico.

A partir do momento em que o tomate atinge o seu amadurecimento, começa a tornar-se disforme, perdendo sua estrutura rígida. Esta degradação estrutural é devida à ação de duas enzimas que atuam sobre a pectina no tecido celular conhecidas como pectinases (GOULD, 1992). Uma delas, a metil-esterase pécnica (PME) realiza uma hidroxilação (ou desmetilação) do ácido galacturônico (FIG. 3), o que aumenta a solubilidade da fibra e reduzindo sua firmeza (PORRETA et al., 1994; BARRET et al., 1998).



Fonte – PEDRO, 2004.

*FIGURA 3 – Conversão de um éster metílico da pectina em ácido carboxílico pela ação da PME, liberando uma molécula de metanol.*

A decomposição da pectina também é realizada pela poligalacturonase (PG). A ação conjunta da PME e da PG, então, contribui para a desestruturação completa e irreversível do fruto, bem como para a perda da viscosidade da polpa de tomate (BARRET et al., 1998).

### 3.5.6. Massa Fresca

Um dos principais indicadores da qualidade física é a avaliação da massa durante o período de maturação de tomates na pós-colheita.

A perda de massa fresca decorrente dos processos transpiratórios e respiratórios pode levar ao murchamento e perda da qualidade dos frutos, diminuindo a sua aceitabilidade comercial (KLUGE & MINAMI, 1997).

O percentual de perda de massa de tomate cv. Débora foi medido por Vieites et al. (1998) para investigar o efeito da embalagem de polietileno e diferentes tipos de ceras na conservação pós-colheita do tomate. Os autores verificaram uma perda de massa de 8.36% no período de 21 dias de armazenagem, em temperatura ambiente.

Castricini et al. (2002) obtiveram níveis semelhantes de perda de massa fresca até o décimo segundo dia para tomates submetidos a diferentes doses de radiação gama, mantidos sob refrigeração à 12°C.

De acordo com Ferreira et al. (2004) a perda de massa também pode ser ocasionada devido à atividade da poligalacturonase (PG), que aumenta a permeabilidade da parede celular, conseqüentemente aumentando a transpiração.

### 3.6. Carotenóides

Os carotenóides representam um amplo grupo de pigmentos naturais com cores que variam do amarelo ao vermelho, sendo encontrados em tecidos fotossintéticos (folhas verdes), não fotossintéticos (frutos, flores, sementes e raízes), algas, bactérias, fungos e leveduras (SOUZA & VILAS BOAS, 2002; ALMEIDA-MURADIAN, 2003; YUYAMA et al., 2007a).

Dentre as ações benéficas dos carotenóides, destaca-se sua ação antioxidante que está relacionada com a diminuição do risco de doenças degenerativas como alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular, formação de catarata e proteção das mucosas gástricas (PALACE et al., 1999; ALMEIDA-MURADIAN et al., 2000; SILVA & MERCADANTE, 2002; SU et al., 2002; NASCIMENTO, 2006).

O estudo da ação dos antioxidantes bem como da sua relação com radicais livres e a prevenção de algumas doenças tornou-se um tema de grande interesse. Os radicais livres são átomos ou moléculas produzidos durante os processos metabólicos e que atuam como mediadores da transferência de elétrons em várias reações bioquímicas nas células e tecidos humanos. A produção excessiva de radicais livres pode conduzir a diversas formas de dano celular e a sua cronicidade está associada com o desenvolvimento de numerosas doenças (SPEISKY & JIMÉNEZ, 2000).

As lesões celulares causadas pelos radicais livres podem ser prevenidas ou minimizadas por meio da atividade de antioxidantes, sendo estes encontrados principalmente em alimentos de origem vegetal (PAPAS, 1999).

Testes *in vitro* e *in vivo* sugerem que os carotenóides são excelentes antioxidantes (ERDMAN, 1999).

Os carotenóides mais comumente encontrados nos alimentos são o  $\beta$ -caroteno e o  $\alpha$ -caroteno presentes, por exemplo, em cenouras (*Daucus carota*) e em abóboras (*Cucurbita* ssp); o licopeno presente em tomates, goiabas e melancias; e várias xantofilas presentes no milho (*Zea mays*), na manga (*Mango indica*) e no mamão (*Carica papaya*) (ARAB & STECK, 2000).

Há alguns fatores que afetam a composição dos carotenóides nas plantas, entre eles os métodos de plantio e colheita, a variedade da planta, o processo de industrialização, o armazenamento e as técnicas utilizadas para o preparo (ALMEIDA-MURADIAN e PENTEADO, 2003).



### 3.6.1. Propriedades

Os carotenóides são substâncias hidrofóbicas, lipofílicas geralmente insolúveis em água e sua estrutura química é um sistema de duplas ligações alternadas entre átomos de carbono (cadeia poliênica), que se dissolvem em solventes orgânicos como acetona, álcool, éter etílico, tetrahidrofurano e clorofórmio (BRITTON et al., 1995; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). Os carotenóides são facilmente solúveis em éter de petróleo e hexano, e as xantofilas se dissolvem melhor em metanol e etanol (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999).

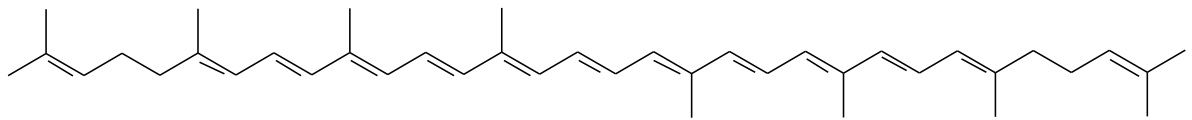
A propriedade de absorver luz origina-se, da presença de duplas ligações conjugadas em sua estrutura. Assim, um cromóforo de sete ou mais duplas ligações promove ao carotenóide a habilidade de absorver luz visível (BRITTON et al., 1995). À medida que o sistema conjugado vai sendo estendido, a cor também é intensificada; portanto, o licopeno com 11 duplas ligações conjugadas, colore o tomate de vermelho. A ciclização coloca as duplas ligações que se encontram dentro dos anéis, fora do plano daquelas da cadeia poliênica, diminuindo a sua coloração. Assim, o  $\gamma$ -caroteno, com uma dupla ligação conjugada localizada no anel, é laranja- avermelhado, enquanto o  $\beta$ -caroteno, com duas destas ligações em anéis, é laranja (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; NASCIMENTO, 2006).

Esta cadeia poliênica também é extremamente susceptível à oxidação e isomerização por meio da luz, calor ou ácidos. As propriedades físicas e químicas dos carotenóides *in vivo* podem ser modificadas por interações com outras biomoléculas e podem ser diferentes daquelas encontradas nos carotenóides livres em substâncias orgânicas (BRITTON et al., 1995).

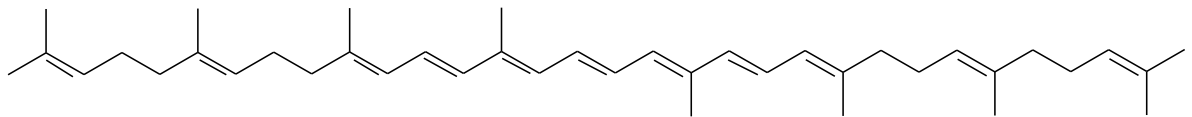
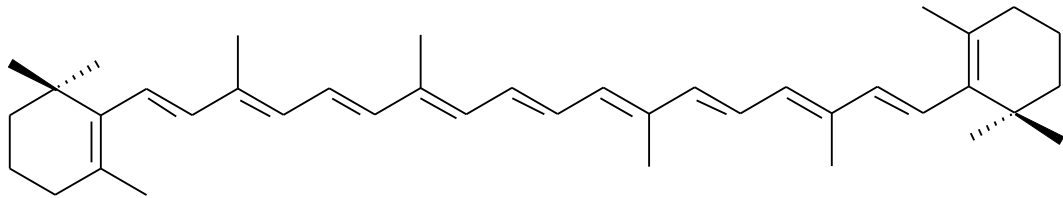
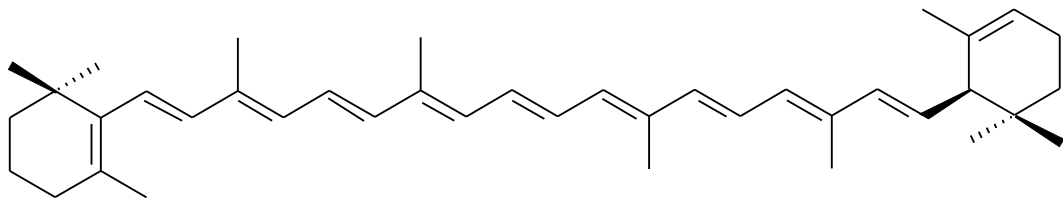
### 3.6.2. Estrutura

A estrutura básica dos carotenóides é de um tetraterpeno ( $C_{40}$ ), formado por oito unidades isoprenóides ( $C_5H_8$ ) unidas por ligações tipo “cabeça-cauda”, com exceção da posição central onde a ligação é do tipo “cauda-cauda”. Esse esqueleto básico pode sofrer modificações por hidrogenação, dehidrogenação, ciclização, migração da dupla ligação, encurtamento ou extensão da cadeia, reordenamento, isomerização, introdução de funções oxigenadas ou por combinações desses processos, resultando em uma diversidade de estruturas (NASCIMENTO, 2006; YUYAMA et al., 2007).

Os carotenóides classificam-se em carotenos e xantofilas. Os carotenos (FIG.4) são hidrocarbonetos poliênicos com variados graus de insaturação que podem ser acíclicos (licopeno e  $\zeta$ -caroteno) ou cíclicos ( $\beta$ -caroteno e  $\alpha$ -caroteno) (AMBRÓSIO et al., 2006; NASCIMENTO, 2006). As xantofilas são sintetizadas a partir dos carotenos que contém oxigênio em sua estrutura, por meio de reações de hidroxilação e epoxidação (AMBRÓSIO et al., 2006; NASCIMENTO, 2006).



Licopeno

 $\zeta$ -caroteno $\beta$ -caroteno $\alpha$ -caroteno

Fonte – GROSS, 1991.

FIGURA 4 – Estrutura química de alguns carotenos.

### 3.6.3. Licopeno

O licopeno é um carotenóide sem a atividade pró-vitamina A, lipossolúvel, composto por onze ligações conjugadas e duas ligações duplas não conjugadas (FIG. 3). O licopeno é tido como o carotenóide que possui a maior capacidade seqüestrante do oxigênio *singlete*, possivelmente devido à presença das duas ligações duplas não conjugadas, o que lhe oferece maior reatividade (KRINSKY, 2001).

É o carotenóide predominante no plasma e nos tecidos humanos, sendo encontrado em um número limitado de alimentos de cor vermelha, como tomates e seus produtos, goiaba, melancia, mamão e pitanga (GIOVANUCCI, 1999).

O consumo de tomates e seus produtos têm sido sugeridos para reduzir o risco de doenças crônicas, tais como câncer, doenças cardiovasculares, envelhecimento, entre outros (GARCIA-ALONZO et al., 2009). De acordo com Giovannucci et al. (1999), o consumo de alimentos ricos em licopeno, bem como uma maior concentração de licopeno no sangue, foi associado a um menor risco de câncer, principalmente de próstata. O licopeno é encontrado na próstata humana, sugerindo a possibilidade biológica de um efeito direto deste carotenóide na função da próstata e na da carcinogênese.

Uma significativa redução no risco de câncer foi observada com o aumento no consumo de licopeno (MICHAUD et al., 2000), corroborando com uma vasta literatura médica (HEBER, 2000). Este carotenóide apresenta maior eficiência na proteção das membranas celulares contra as lesões causadas pelo radical dióxido de nitrogênio (encontrado no fumo), apresentando desta forma, um papel especial na preservação do câncer de pulmão (BOHM et al., 1995).

O licopeno, como os demais carotenóides, se encontra em maiores quantidades na casca dos alimentos, aumentando consideravelmente durante o seu amadurecimento. Sua concentração é maior nos alimentos produzidos em regiões de climas quentes (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999).

#### 3.6.3.1. Biodisponibilidade

Em relação à biodisponibilidade, verificou-se que o consumo de molho de tomate aumenta as concentrações séricas de licopeno em taxas maiores do que o consumo de tomates *in natura* ou suco de tomate fresco. Gartner et al. (1997) observaram que a ingestão de molho de tomate cozido em azeite resultou em um aumento em torno de 2 a 3

vezes da concentração sérica de licopeno um dia após sua ingestão. Entretanto, nenhuma alteração ocorreu quando se administrou suco de tomate fresco. Essa diferença de biodisponibilidade está relacionada com as formas isoméricas apresentadas pelo licopeno.

Clinton et al. (1996) demonstraram que 79% a 91% do licopeno presente nos tomates e seus produtos encontram-se sob a forma do isômero *trans* (*trans*-licopeno), em contraste com os níveis de licopeno sérico e tissulares, que se encontra em mais de 50% na forma de isômero *cis* (*cis*-licopeno).

O licopeno ingerido, na sua forma natural (*trans*-licopeno), é pouco absorvido, mas estudos demonstram que o processamento térmico dos tomates e seus produtos melhoram a sua biodisponibilidade. O processamento térmico rompe a parede celular e permite a extração do licopeno dos cromoplastos (WILLCOX et al., 2003).

A isomerização de *trans*-carotenóides para *cis*-carotenóides são promovidas pelo contato com ácidos, tratamento térmico e exposição à luz, de modo a alterar a atividade biológica do alimento (BRITTON et al., 1995).

Este processo de isomerização ocorre da seguinte forma: os quatro grupos químicos que se ligam à dupla ligação carbono-carbono (C=C) nos carotenóides ficam no mesmo plano. Conseqüentemente, cada dupla ligação pode existir de duas formas, denominadas como isômeros geométricos. No caso dos carotenóides, a dupla ligação C=C é designada como *cis* ou *trans* em relação a disposição dos substituintes. Se estes estiverem do mesmo lado da axe C=C, a dupla ligação é chamada de *cis* e se estiverem em lados opostos é chamada de *trans* (ALMEIDA-MURADIAN & PENTEADO, 2003).

Recentemente, a designação latina *cis* / *trans* tem sido substituída pela designação germânica Z (*zusammen* = juntos) e E (*entgegen* = opostos). Estas são utilizadas em nomenclatura semi-sistemática (ALMEIDA-MURADIAN & PENTEADO, 2003).

A maioria dos carotenóides naturais ocorre predominantemente na forma *trans*, no entanto, alguns carotenóides com a configuração Z foram isolados. Anteriormente a essas denominações os carotenóides eram denominados conforme a ordem de eluição num sistema cromatográfico (ALMEIDA-MURADIAN & PENTEADO, 2003).

Recentemente vêm sendo estudados a influência de tratamentos com radiação UV-C, infravermelho entre outras, no teor de licopeno de tomates in natura (LIU et al., 2009), bem como estudo da aplicação da radiação gama em pastas de tomate (YE et al., 2009). Porém os autores referiram que são poucos os relatos na área, sobretudo na medição da concentração de carotenóides, gerando uma lacuna a ser analisada.

A quantidade de licopeno em produtos processados depende da composição do alimento de origem e das condições de processamento. Os níveis de licopeno nos produtos processados são geralmente maiores do que os encontrados em alimentos crus (TAB.5), dado que o cozimento aumenta a biodisponibilidade dos carotenóides (SÁ & RODRIGUEZ-AMAYA, 2009).

TABELA 5 – Conteúdo de licopeno ( $\mu\text{g/g}$ ) em frutas e em produtos processados do tomate.

Frutas	Parte consumida	Licopeno ( $x \pm sd$ ) ( $\mu\text{g}$ licopeno/g da fruta)	Local de Produção
Goiaba vermelha	Inteira	$53 \pm 6$	São Paulo
Mamão			
Formosa	Polpa	$19 \pm 4$	São Paulo
Formosa	Polpa	$26 \pm 3$	Bahia
Tailândia	Polpa	$40 \pm 6$	Bahia
Pitanga	Inteiro	$73 \pm 1$	Pernambuco
Tomate	Inteira	$31 \pm 20$	São Paulo

Produto	Classificação	Licopeno ( $x \pm sd$ ) ( $\mu\text{g}$ licopeno/g produto)	Embalagem
Purê de tomate	Tipo A	$133 \pm 8$	Caixinha
	Tipo A	$134 \pm 58$	Garrafa
	Tipo A	$114 \pm 89$	Lata
	Tipo B	$088 \pm 43$	Caixinha
	Tipo B	$194 \pm 81$	Garrafa
	Tipo B	$074 \pm 18$	Lata
	Tipo A	$170 \pm 61$	Garrafa
Pasta de tomate	Tipo A	$164 \pm 53$	Lata
	Tipo B	$158 \pm 22$	Garrafa
	Tipo B	$183 \pm 23$	Lata
<i>Catchup</i>	Tipo A	$103 \pm 41$	-

Fonte – Rodriguez-Amaya, 1999.

### 3.6.3.2. Metodologias empregadas para a quantificação de licopeno

Existem vários métodos analíticos para a análise dos carotenóides, sendo os mais usados a cromatografia em coluna aberta (CCA) e a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) (RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

A cromatografia em coluna aberta tem sido a técnica mais utilizada para a separação de carotenóides totais em alimentos. Vários adsorventes podem ser utilizados e uma série de combinações destes são encontradas, de acordo com a necessidade (PENTEADO, 2003).

Este método requer equipamentos como espectrofotômetro, rota-evaporador, bomba à vácuo e solventes como éter de petróleo, acetona e metanol. É indicada para quantificações totais de carotenóides e sua equivalência com a CLAE foi demonstrada em recente publicação da base de dados de carotenóides brasileiros, publicado por Rodriguez-Amaya et al. (2008) (TAB. 6).

TABELA 6 – Base de dados de  $\mu\text{g}$  licopeno/g tomate e seus subprodutos.

Descrição	Origem	Licopeno $\mu\text{g/g}$	Método	Referência
Tomate Carmem	SP	$35 \pm 10$	CLAE	NIZZU & RODRIGUEZ-AMAYA, 2005.
Tomate Santa Cruz	SP	$31 \pm 20$	OCC	TAVARES & RODRIGUEZ-AMAYA, 1994.
Molho de tomate enlatado	SP	$84 \pm 12$	CLAE	HUBER et. al., 2004.
Pasta de tomate	SP	$158 \pm 22$	OCC	TAVARES & RODRIGUEZ-AMAYA, 1994.
Polpa de tomate enlatada	GO	$86 \pm 24$	CLAE	HUBER et. al., 2004.
Purê de tomate	SP	$74 \pm 18$	OCC	NIZZU & RODRIGUEZ-AMAYA, 2005.

A CLAE surgiu em 1970 como um procedimento cromatográfico alternativo (RIZZOLO & POLESELLO, 1992). Tem substituído as demais técnicas por apresentar maior rapidez, reprodutividade e sensibilidade. Utilizando-se a técnica CLAE, a grande vantagem seria a alta capacidade de resolução, permitindo dessa forma, determinar a composição completa de carotenóides, inclusive separando as formas isoméricas (PENTEADO, 2003).

Embora a técnica de CLAE para análise de carotenóides apresente vantagens, como quantificação de isômeros, o alto custo de aquisição e manutenção do equipamento representa uma limitação para seu emprego em países em desenvolvimento como o Brasil (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; PENTADO, 2003).

Outro problema inerente à determinação de carotenóides por CLAE é a dificuldade de se obter e manter padrões puros. Apenas preparações de  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -caroteno são disponíveis no comércio e variam em graus de pureza – por serem instáveis, sofrem rápida degradação (PENTEADO, 2003). Craft et al. (1989) verificaram a pureza do  $\beta$ -caroteno de 5 dos maiores distribuidores, demonstrando uma grande faixa de variação no grau de pureza desses padrões (7.1% a 82.9%). Sendo assim, é considerável o tempo gasto na purificação e na manutenção de padrões puros, comprometendo a vantagem da rapidez da técnica de CLAE, e talvez por isso, este não seja o método oficial recomendado pela AOAC (WILLBERG & RODRIGUEZ-AMAYA, 1993; PENTEADO, 2003).

Em relação à cromatografia em coluna aberta, ao serem obtidos os valores em espectrofotômetro, realiza-se a confirmação da identidade de carotenóides já conhecidos por meio de uma combinação criteriosa de parâmetros mais tradicionais estabelecidos e comprovados em diversos estudos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989; PENTEADO, 2003).

Carvalho et al. (1992) publicaram resultados da determinação de pró-vitamina A obtidos por CLAE e por CCA. Neste caso, os autores constataram valores semelhantes entre as duas metodologias empregadas.

Adewusi & Bradbury (1993) obtiveram resultados equivalentes ao compararem os métodos CCA e CLAE para quantificação de carotenóides em mandioca. O mesmo foi observado por Almeida-Muradian et al. (1998) ao analisar amostras de vegetais folhosos. Utilizando como material de estudo cinco tipos de folhas (folhas de cenoura, de beterraba, de serralha, de hortelã e de salsa), as autoras concluíram que os métodos se equivalem com uma boa correlação entre eles.

Tomando-se por base estes dados, pode-se observar que para quantificações totais de bandas maiores, tais como licopeno e  $\beta$ -caroteno, tanto a cromatografia em coluna aberta, quando a cromatografia líquida de alta eficiência, são pertinentes e equivalentes.

### 3.7. Pragas

O Brasil é considerado o quarto maior mercado de agroquímicos ou defensivos químicos sintéticos do mundo. Existem mais de 2000 produtos registrados, entre os quais protetores de semente, inseticidas, fungicidas, acaricidas, reguladores de crescimento, entre outros.

Diversas espécies de insetos atacam o tomateiro e os danos oscilam de acordo com a intensidade do ataque. Algumas delas danificam os frutos a ponto de inutilizá-los para a comercialização, outras são transmissoras de viroses. As principais pragas que apresentam danos aos tomates são: a traça-do-tomateiro (*Scrobipalpus absoluta*), broca-pequena (*Neoleucinodes elegantalis*), broca-grande (*Helicoverpa zea*), lagarta-rosca (*Agrotis spp*), burrinho (*Eupicauta saturalis* e *Eupicaut attomaria*), mosca-branca (*Bemisia argentifolii*), tripes (*Frankliniella schulzei*), larva-minadora (*Liriomyza spp.*), ácaro-do-bronzeamento (*Aculops lycopersici*) e pulgões (*Myzus persicae* e *Macrosiphum euphorbiae*). (EMBRAPA, 1993; LOURENÇÃO et al., 1997; LOURENÇÃO et al., 1999; FONTES & SILVA, 2002).

O controle químico de inseticidas, prática mais utilizada pelos agricultores, promove uma redução na população de pragas. Contudo, existem diversas pragas como, por exemplo, a traça-do-tomateiro (BRANCO et al., 2001), que apresentam maior dificuldade no controle, em razão de sua resistência aos agrotóxicos.

Conforme Lampkin (1990), a qualidade de um produto não deve ter por base apenas uma característica mensurável, além da aparência e da conveniência tecnológica, deve-se avaliar o valor nutricional, em que estão inclusos a ausência de resíduos pesticidas e metais pesados, provenientes de agrotóxicos.

Em virtude de dados de consumo de alimentos realizados pela Pesquisa de Orçamento Familiares do IBGE, em 1996, Caldas & Souza (2000) identificaram os alimentos mais comuns para a Ingestão Diária Máxima Teórica (IDMT) de pesticidas, dentre os quais encontram-se frutas, especialmente as cítricas, o cereal arroz e o tomate.

Para Balcewicz (1999), o excesso de agrotóxicos é prejudicial e faz com que o tomate convencional apresente alteração no valor protéico, nas vitaminas A e C, e no sabor. Além disso, também há interferência na quantidade de licopeno, substância encontrada no tomate e que previne o câncer. No mínimo, é ambíguo comer tomate para combater o câncer, se o excesso de agrotóxico pode contraí-lo (BALCEWICZ, 1999; GIOVANUCCI, 2000; AZEVEDO, 2003).

O fato é que o efeito do sistema utilizando grande quantidade de agrotóxicos para a produção de tomate pode influenciar sua composição (BORGUINI et al., 2003). Isso pode implicar numa maior quantidade de aplicação, destinada à eliminação da praga, ocasionando em ineficácia e na grande probabilidade de ocorrência residual de agrotóxicos.

Entretanto existem outras técnicas potenciais no combate às pragas, destacando-se a irradiação em alimentos (SANTIN, 2000). A utilização desta técnica, não visa a eliminação da utilização dos agrotóxicos em tomates, mas sim a desinfestação, que acaba culminando numa redução da aplicação de agrotóxicos.



### 3.8. Radiação em alimentos

A radiação pode ser definida como sendo a emissão e propagação da energia ou partículas através do espaço ou matéria e irradiação é o processo de aplicação de energia radiante a um alvo qualquer, no caso, um determinado alimento (FRANCO & LANDGRAF, 1996).

É recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e por dois órgãos da Organização das Nações Unidas (ONU): a Organização para a Agricultura e a Alimentação (FAO) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a ANVISA (2001), fontes de radiação são aquelas autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, na conformidade das normas pertinentes, a saber: isótopos radioativos emissores de radiação gama – Cobalto 60; raios x gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5 MeV e elétrons gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV.

A quantidade de energia absorvida é chamada de dose. A unidade no Sistema Internacional de Unidades é gray (Gy) e equivale a 1J/kg de alimento (ICGFI; Vienna, 1992).

A excitação e ionização que ocorrem em alimentos envolvem apenas os elétrons externos dos átomos, aqueles menos ligados ao núcleo e que são responsáveis por fazer as ligações entre os átomos formando os compostos químicos. Como resultado, os efeitos de tal excitação e ionização são limitados a mudanças químicas, não havendo riscos de induzir a radioatividade no alimento (ICGFI; Vienna, 1992).

Na irradiação de alimentos, o ácido nucléico do DNA das células vivas é ionizado ou excitado como as outras moléculas. Qualquer alteração nesta molécula irá alterar a mensagem que ela carrega, permitindo que a célula funcione e se reproduza. Acima de uma determinada dose, as alterações serão tão numerosas que não será mais possível repará-las, levando a morte das células ou à sua incapacidade de reprodução (ICGFI; Vienna, 1992).

As doses de irradiação, segundo a ANVISA (2001), devem obedecer ao seguinte critério: qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas que, a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida, e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento. Alguns cuidados também devem ser tomados com o alimento antes de ser submetido à radiação: seleção dos

alimentos (estar em bom estado de frescor e qualidade, devendo ser evitados aqueles com deterioração incipiente); limpeza dos alimentos (qualquer sujidade ou partícula deve ser removida, com a finalidade de diminuir o número de microorganismos presentes) e embalagem (deve-se proteger o alimento da contaminação pós-processamento) (ANVISA, 2008).

### **3.8.1. Efeitos da radiação em frutos**

Os frutos devem ser classificados de acordo com o comportamento respiratório durante sua fase de maturação e com a sua classe, climatérico ou não-climatérico. Frutos climatéricos exibem uma lenta taxa de respiração decrescente que chega ao seu mínimo antes de iniciar a maturação. Com o início da maturação a respiração aumenta intensamente e chega ao seu pico quando o fruto se torna maduro. A degradação final do fruto (senescência) é acompanhada por um declínio na taxa de respiração do fruto. Frutos não-climatéricos são normalmente colhidos já maduros e mostram uma lenta taxa de respiração decrescente sem qualquer período de pico de atividade (ICGFI; Vienna, 1992).

A irradiação de frutos climatéricos no período pré-climatérico produz respostas melhores à irradiação do que frutas irradiadas depois do estágio climatérico (ICGFI; Vienna, 1992).

A irradiação atua no fruto destruindo a semipermeabilidade da célula com água, tornando o tecido gradativamente menos resistente e interferindo positivamente na textura da fruta. Porém até 1000 Gy essas alterações não são perceptíveis sensorialmente (GAGNON et al., 1993).

Dentre as vantagens da irradiação em relação aos métodos químicos de tratamentos pode-se citar a ausência formação de resíduos e principalmente o fato de que diferentemente da resistência química, os insetos não desenvolvem resistência à radiação, estando sempre susceptíveis a sua atuação (TILTON & BURDITT, 1983).

Uma vez que a resposta de frutos climatéricos à radiação está relacionada com o seu estágio de maturação, o uso da radiação para sua preservação ou outro fim, deve levar isto em consideração para minimizar os efeitos indesejáveis e assegurar os desejáveis (DEL MASTRO, 1999).

A radiação pode levar a mudanças na composição química das frutas. Tais mudanças envolvem alterações na quantidade de vitamina, conversão de protopectina à pectina, degradação da celulose e do amido, destruição de alguns ácidos e mudanças na

pigmentação. As alterações na textura ocorrem devido às mudanças na pectina e celulose e podem ser um fator limitante na quantidade de radiação empregada na fruta (ICGFI; Vienna, 1992).

A radiação pode reduzir perdas na pós-colheita ao matar insetos em frutas, grãos ou ervas, reduzindo danos alimentares causados por estes organismos, inibindo a germinação de vegetais e postergando o amadurecimento de frutos (DEL MASTRO, 1999).

Baixas doses são aplicadas para desinfestação de insetos com a finalidade de exportação para países que exigem segurança fitossanitária. Para os frutos climatéricos a radiação oferece uma combinação de efeitos, desinfestação somado ao retardamento da maturação. O retardamento da senescência é uma das principais razões para a aplicação da irradiação nas frutas (ICGFI; Vienna, 1992).

### **3.8.2. Irradiação em tomates**

Diversos problemas são ocasionados devido ao ataque de algumas pragas ao tomateiro, encurtando sua vida útil e interferindo na sua atividade metabólica (BLEINROTH, 1995).

Para tanto, utilização da energia das radiações ionizantes em alimentos atinge uma grande diversidade em áreas de pesquisa. Nos últimos anos, têm sido apresentado os benefícios da irradiação em diferentes campos de aplicação, tais como: controle da infestação de insetos, retardo do amadurecimento de frutos (SANTIN, 2000), redução da carga microbiana, inibição de brotamento em bulbos e tubérculos (MOREIRA et al., 2005).

O IDIDAS (2009) relaciona doses típicas para eliminar ou esterilizar diversas pragas comuns aos tomates. Entretanto, as pragas citadas não são as comuns no Brasil. Desta forma, neste trabalho serão estudadas doses numa determinada faixa que atenda tanto ao IDIDAS (2009), bem como a legislação britânica na qual a dose permitida se estende até 2 kGy (*Official Journal of the EU*, 2003).

Todokori et al. (2009) verificaram a influência da radiação gama ( $^{60}\text{Co}$ ) na eliminação da *Listeria monocytogenes* em tomates-cereja. Os autores verificaram que a dose de 1.25 kGy foi eficiente para esta finalidade, além de não interferir nos materiais pécticos do fruto.

Propriedades físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais foram avaliadas por Prakash et al. (2009) em tomates cv. *Roma* picado em dois ensaios com as seguintes doses: ensaio 1 (Controle, 0.39 kGy, 0.56 kGy e 1.82 kGy) e ensaio 2 (Controle, 0.50 kGy, 1.24 kGy e 3.70 kGy). Os resultados indicaram que a cor, os sólidos solúveis e a acidez titulável não sofreram alterações significativas pela radiação. Entretanto, os autores identificaram que a firmeza diminuiu em função do aumento da dose, mas não com o tempo de armazenamento. A dose de 3.7 kGy apresentou diminuição da firmeza em torno de 50%. Os autores também observaram uma redução substancial da carga microbiana sem alterar as qualidades sensoriais do tomate.

Alguns estudos indicam que há a possibilidade de extração de uma maior quantidade de licopeno, em função da aplicação da radiação, devido a mudanças na estrutura química, conforme descrito no Capítulo 3.6.3.1. Segundo Castricini et al.(2002), o uso da radiação gama no tomate, fez com que o mesmo apresentasse maior firmeza em relação à amostra controle, mostrando-se eficaz na sua conservação pós-colheita, além de demonstrar uma aceleração no processo de acúmulo de carotenóides.

Deste modo, torna-se importante avaliar possíveis alterações causadas pela aplicação da radiação ionizante em relação aos pigmentos carotenóides.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

Foram utilizados frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), pertencentes ao cultivar de mesa *Débora*. Os frutos foram adquiridos no CEAGESP (Companhia de Entrepostos e Armazéns em Geral do Estado de São Paulo), no ponto de maturação zero – verde – de acordo com a metodologia preconizada por Castricini et al. (2002). O lote solicitado, continha aproximadamente 300 tomates.

### 4.2. Fracionamento do lote e tratamento: irradiação dos tomates

O lote de 300 tomates foi fracionado (FIG. 5) em cinco grupos: controle (sem irradiação); T1: dose 0,25kGy; T2: dose 0,5kGy; T3: dose 1,0kGy e T4: dose 2,0kGy. Os tomates foram irradiados na fonte de  $^{60}\text{Co}$ , no Irradiador Multipropósito do Centro de Tecnologia das Radiações (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/SP).

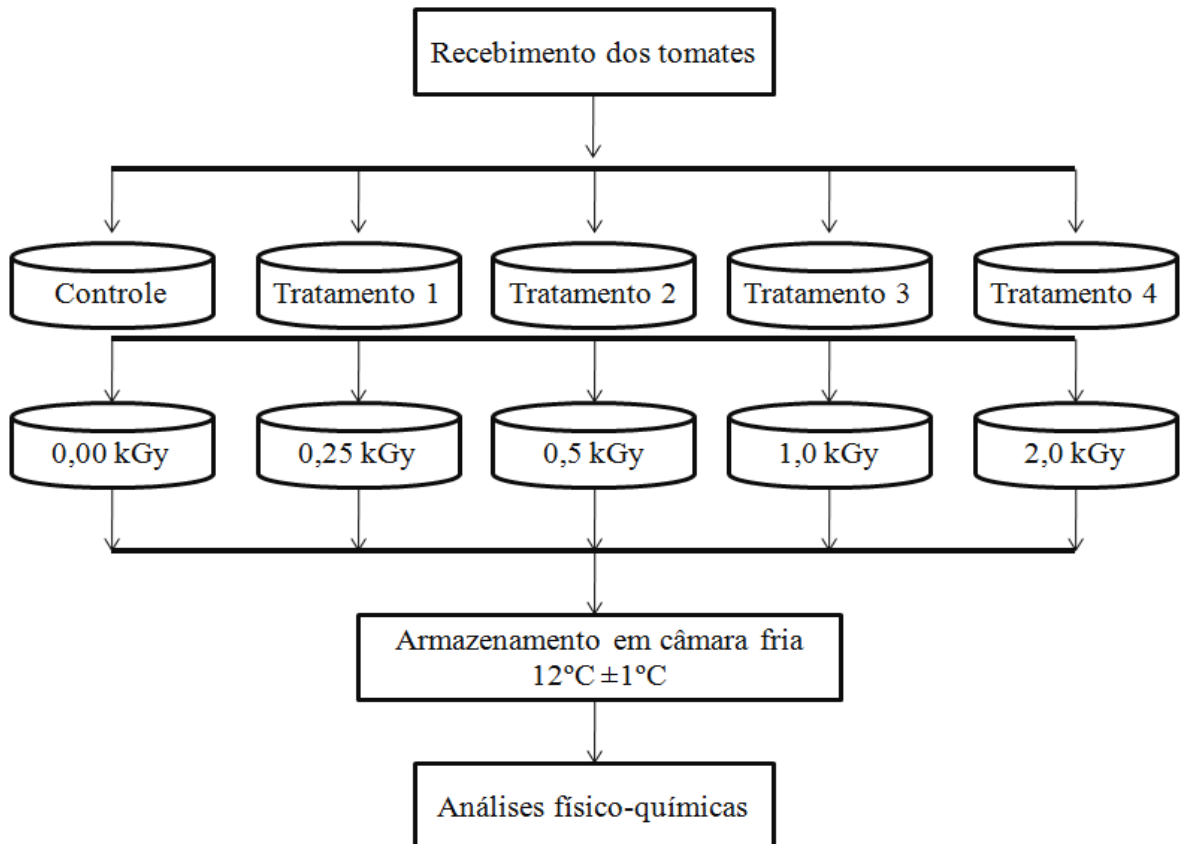


FIGURA 5 – Fracionamento do lote de tomates.

Paralelamente, foram separados 10 tomates de cada grupo de tratamento (50 no total), individualmente numerados e etiquetados para a avaliação da massa fresca durante o período de amadurecimento (FIG. 6).

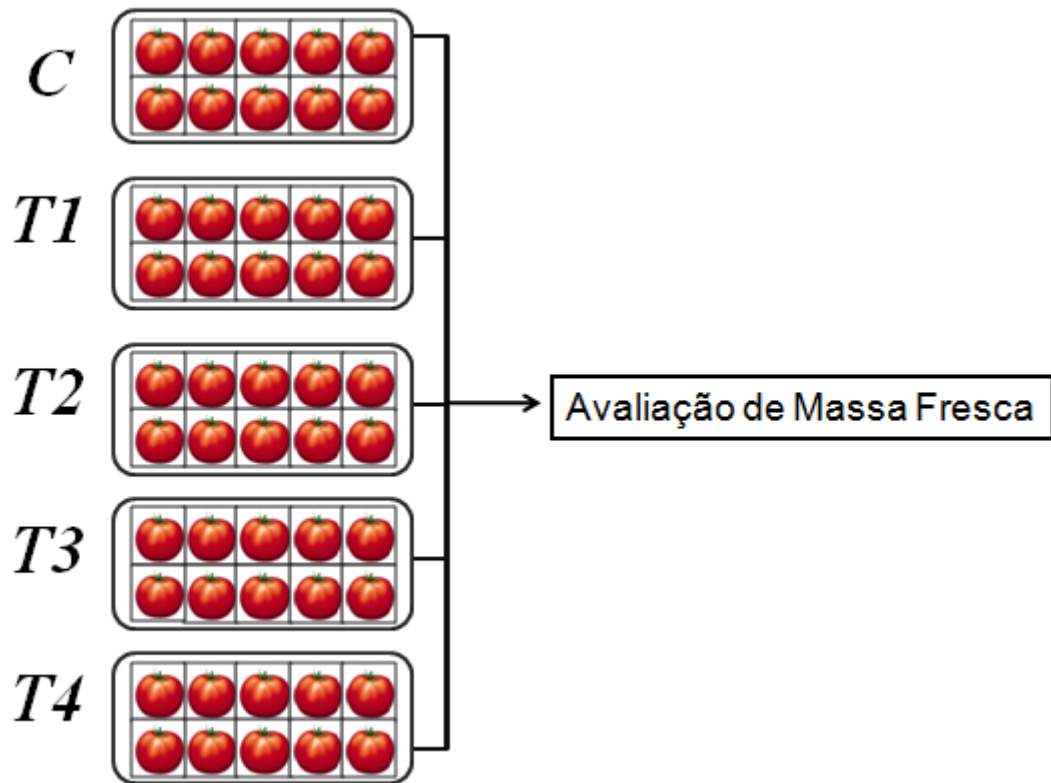


FIGURA 6 – Fracionamento do lote de tomates para avaliação de massa fresca – 50 tomates, sendo 10 para cada tratamento.

#### 4.3. Acondicionamento

Após a irradiação, os tomates foram mantidos em câmara fria à  $12^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$  (FIG.3) e a 67% UR até o final das análises. Esta condição é a ideal para a fisiologia do fruto durante o armazenamento (CASTRICINI et al., 2002).

#### 4.4. Análises

Mediante a irradiação dos tomates, foram realizadas as análises físico-químicas nos tomates *in natura*. As amostras foram avaliadas a partir do 3º dia após a irradiação, prosseguindo nos dias 6, 9, 12, 15 e 20. Tomates “controle” foram analisados juntamente com os irradiados.

Em função do amadurecimento e da qualidade das amostras (variando de acordo com a radiação aplicada), foram determinadas as datas para realização da

quantificação de licopeno no tomate *in natura* (Lt). O cronograma utilizado pode ser visualizado na TAB. 6. A determinação do licopeno no molho (Lm) empregou tomates da amostra controle e da amostra irradiada na dose que apresentou maior teor de licopeno (em função dos resultados obtidos com os tomates *in natura*).

TABELA 6 – Cronograma da realização das análises.

REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES					
Período de Armazenamento (Dias após a irradiação)	Tratamentos				
	Controle	0,25 kGy	0,50 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
3	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
6	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
9	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
12	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
15	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
20	FQ	FQ	FQ	FQ	FQ
Análise do licopeno no tomate <i>in natura</i>	Lt	Lt	Lt	Lt	Lt
Análise do licopeno no molho	Lm			Lm	

As análises físico-químicas do tomate *in natura* foram realizadas no Laboratório de Irradiação de Alimentos, do Centro de Tecnologia das Radiações – IPEN/SP e as análises de licopeno em tomates e no molho foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP/SP.

#### 4.4.1. Parte experimental I – análises físico-químicas no tomate *in natura*

Foram utilizados seis tomates de cada tratamento, totalizando trinta por dia de análise. Estas análises foram realizadas após 3, 6, 9, 12, 15 e 20 dias após a irradiação. Neste período foram avaliados os parâmetros físico-químicos na seguinte ordem: primeiramente procederam-se os experimentos de maturação, textura e cor, utilizando frutos inteiros. Posteriormente, realizou-se uma trituração individual de cada tomate para análise de sólidos solúveis, sendo logo em seguida realizada uma diluição para as análises de pH e acidez titulável – ou seja, seis tomates viraram três amostras (triplicata). A esquematização das análises pode ser visualizada na FIG. 7.

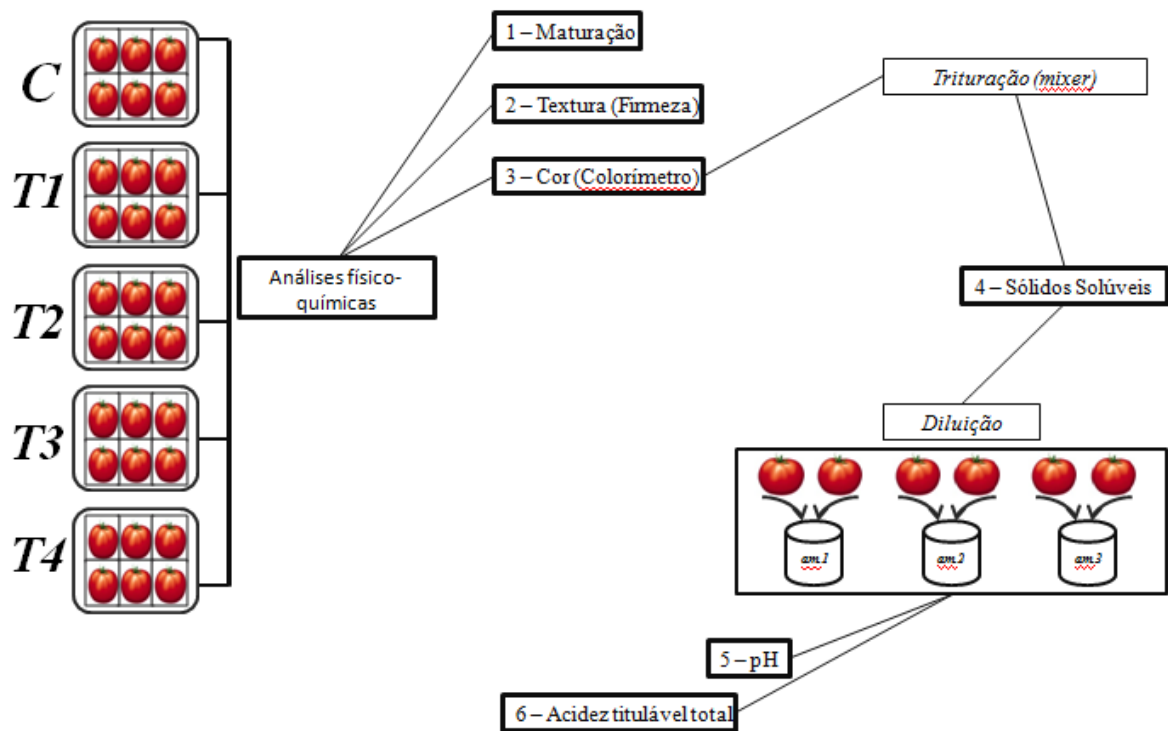


FIGURA 7 – Esquematização das análises físico-químicas em tomates in natura.

Ao término destas análises, procedeu-se a última análise físico-química dos tomates *in natura*: avaliação da massa fresca. Os procedimentos para as análises citadas seguem nas próximas subsecções.

#### 4.4.1.1. Maturação

A cor da casca foi medida subjetivamente por meio de uma escala de notas, segundo a metodologia preconizada por Castricini et al. (2002): nota 3, para frutos com coloração vermelho intenso; 2, para frutos vermelhos; 1, para frutos esverdeados e 0 para frutos verdes (FIG. 8).

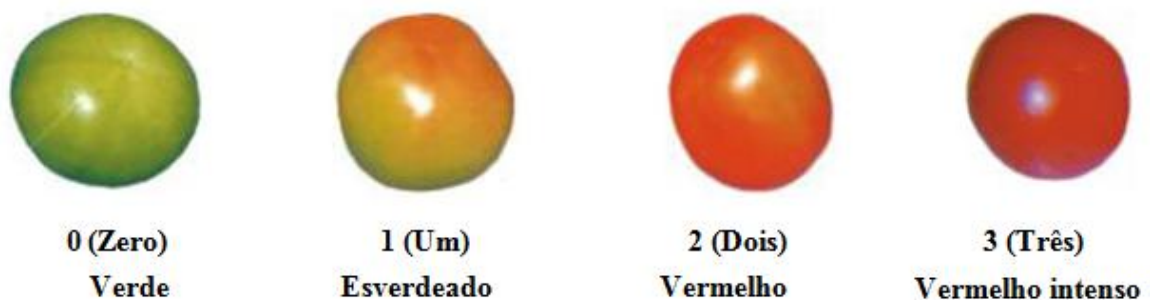


FIGURA 8 – Escala de notas para a coloração de tomates.



#### 4.4.1.2. Textura (firmeza)

O texturômetro é um equipamento utilizado para analisar a textura em função da resistência à deformação apresentada pelos alimentos. Tal resistência é um atributo sensorial importante, como a mastigação humana, podendo verificar o seu tipo e a sua intensidade.

Para esta medição foi utilizado o texturômetro marca Stable Micro Systems, modelo TA-TX2i, com *probe* cilíndrico de 2 mm que determinou a resistência do fruto em relação à força aplicada pelo aparelho.

Sendo assim, foi fixado um suporte na base quadrada do equipamento, de modo a permitir o posicionamento do tomate.

Na realização dos ensaios de penetração, o *probe* foi movimentado em direção ao suporte, de cima para baixo, a uma velocidade de 1,0 mm/s até 10 mm após a tensão de ruptura.

A unidade utilizada para medida de força foi o Newton (N). A FIG. 9 abaixo demonstra um ensaio de textura sendo realizado.



*FIGURA 9 – Análise da textura do tomate em um texturômetro, com o probe cilíndrico de 2mm.*

#### 4.4.1.3. Cor (Colorímetro)

Para a realização da análise da cor da casca dos tomates, foi utilizado o Colorímetro Minolta Chroma Meter modelo CR200b, com a configuração  $L^* C^* h^*$ , sendo L: luminosidade; C: cromaticidade e h: ângulo da cor.

O espaço de cores  $L^* C^* h^*$ , utiliza o mesmo diagrama que o espaço de cores  $L^* a^* b^*$ , porém são empregadas coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas retangulares.

Antes de iniciar o experimento foi necessário calibrar o equipamento com o “branco”. Para isto, foi posicionado o aparelho sobre este “quadrado branco” e pressionada a tecla *enter* do computador ligado ao equipamento.

Após a calibração, os tomates foram analisados. Três leituras foram realizadas em cada fruto. O aparelho foi posicionado no início da “região equatorial” do tomate, seguida de outra leitura no meio e a última no fim. Este procedimento foi repetido para todos os tomates analisados.

Cabe ressaltar que o equipamento precisa de uma referência, ou seja, um padrão para fornecer resultados coerentes. No caso, os tomates do grupo Controle foram utilizados como padrão, para ser comparado com os demais tratamentos.

#### **4.4.1.4. Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)**

O teor de sólidos solúveis foi determinado pelo refratômetro de bancada *ABBE*, modelo *Q-767b*, de acordo com a metodologia estabelecida pela AOAC (1995) com correção do °Brix para a temperatura.

Para sua determinação houve o processamento do tomate, com o auxílio de um mixer marca Mondial.

As medidas de sólidos solúveis foram obtidas diretamente ao adicionar algumas gotas do tomate processado ao prisma do refratômetro.

#### **4.4.1.5. pH**

Os valores de pH foram obtidos com o auxílio do potenciômetro Micronal, modelo B474, sendo calibrado com as soluções padrão de pH ácido e básico e testado antes do de cada dia de atividade (AOAC, 1995).

Nas análises anteriores foram utilizados seis tomates, obtendo valores individuais para cada um, ou seja, seis resultados. Nesta análise, foram realizadas diluições, ou seja, triplicatas, com dois tomates em cada amostra (FIG. 10).

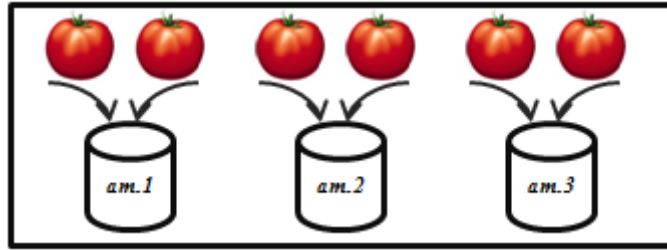


FIGURA 10 – Diluição de tomates para as análises de pH e acidez titulável total.

Foram pesados 10g de tomate previamente triturados e diluídos em 100mL de água destilada, sob agitação magnética, com o *probe* e o termômetro do potenciômetro dentro da amostra e anotados os valores obtidos no visor do equipamento.

#### 4.4.1.6. Acidez titulável total (% de ácido cítrico)

As medidas de acidez titulável foram obtidas pelos mesmos procedimentos descritos no item 4.4.1.5, com a adição de solução de hidróxido de sódio 0,1N na amostra, até a viragem do pH em 8,1 (AOAC, 1995). Para tanto, utilizou-se Bureta Digital Hirschmann Laborgerate.

O conteúdo de acidez titulável foi expresso em porcentagem de ácido cítrico através da seguinte equação (1):

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{V \times N \times \text{Meq}}{P} \quad (1)$$

Em que:

V= Volume, em mL de NaOH gasto na titulação;

N= Normalidade do NaOH (0,1 N);

Meq= Miliequivalente do ácido – 0,064 para o ácido cítrico;

P= Peso da amostra, em g.

#### 4.4.1.7. Avaliação da massa fresca

Os tomates foram pesados em balança semi-analítica Mettler, modelo PB 3002, resolução 3100g nos dias especificados. O resultado em porcentagem de perda de peso de cada amostra foi obtido subtraindo-se o peso da fruta no último dia de análise do peso original medido no primeiro dia, dividindo-se essa diferença pelo peso original e multiplicando-se essa fração por 100.

#### 4.4.2. Parte experimental II – análises de carotenóides

A determinação de carotenóides foi baseada no procedimento descrito por RODRIGUEZ-AMAYA (2004), com modificações conforme necessidade de melhor extração e purificação das porções.

##### 4.4.2.1. Primeira etapa - extração

Considerando que o tecido vegetal contém elevada porcentagem de água e que os carotenóides são lipossolúveis, utilizou-se a acetona como solvente extrator, pois é um solvente orgânico miscível em água.

Desta forma, o tomate foi higienizado e cortado em pequenos pedaços homogêneos. Foram pesados então, cinco gramas em um bécker e adicionados 40 mL de acetona gelada às amostras (análise triplicata). Antes da extração propriamente dita, as amostras ficaram em contato com o solvente por 20 minutos ao abrigo da luz.

Assim, as amostras foram homogeneizadas em extrator mecânico (Turax) e filtradas a vácuo. Este procedimento foi repetido por três vezes ou até que o resíduo da amostra se apresentasse incolor. Os filtrados combinados, contendo os pigmentos dissolvidos em acetona, foram transferidos para um funil de separação contendo 15 mL de éter de petróleo.

Uma vez quantitativamente transferidos para o éter de petróleo, lavagens com água destilada (em torno de três) foram efetuadas para assegurar a retirada completa da acetona.

A solução de éter com os pigmentos foi recolhida para um erlenmeyer com aproximadamente duas colheres de sulfato de sódio anidro, com a finalidade de retirar água residual da amostra, sendo posteriormente transferida para um funil com algodão e uma colher de sódio sulfato anidro.

Desta forma, a solução de éter com os pigmentos foi concentrada em um evaporador rotativo a vácuo, à temperatura de 35° C.

Depois de roto-evaporar, uma pequena quantidade de nitrogênio é passada no balão de evaporador rotativo, que é vedado com *parafilm* e colocado no freezer (protegido da luz) até a próxima etapa. Na FIG. 11 é possível visualizar esta primeira etapa.

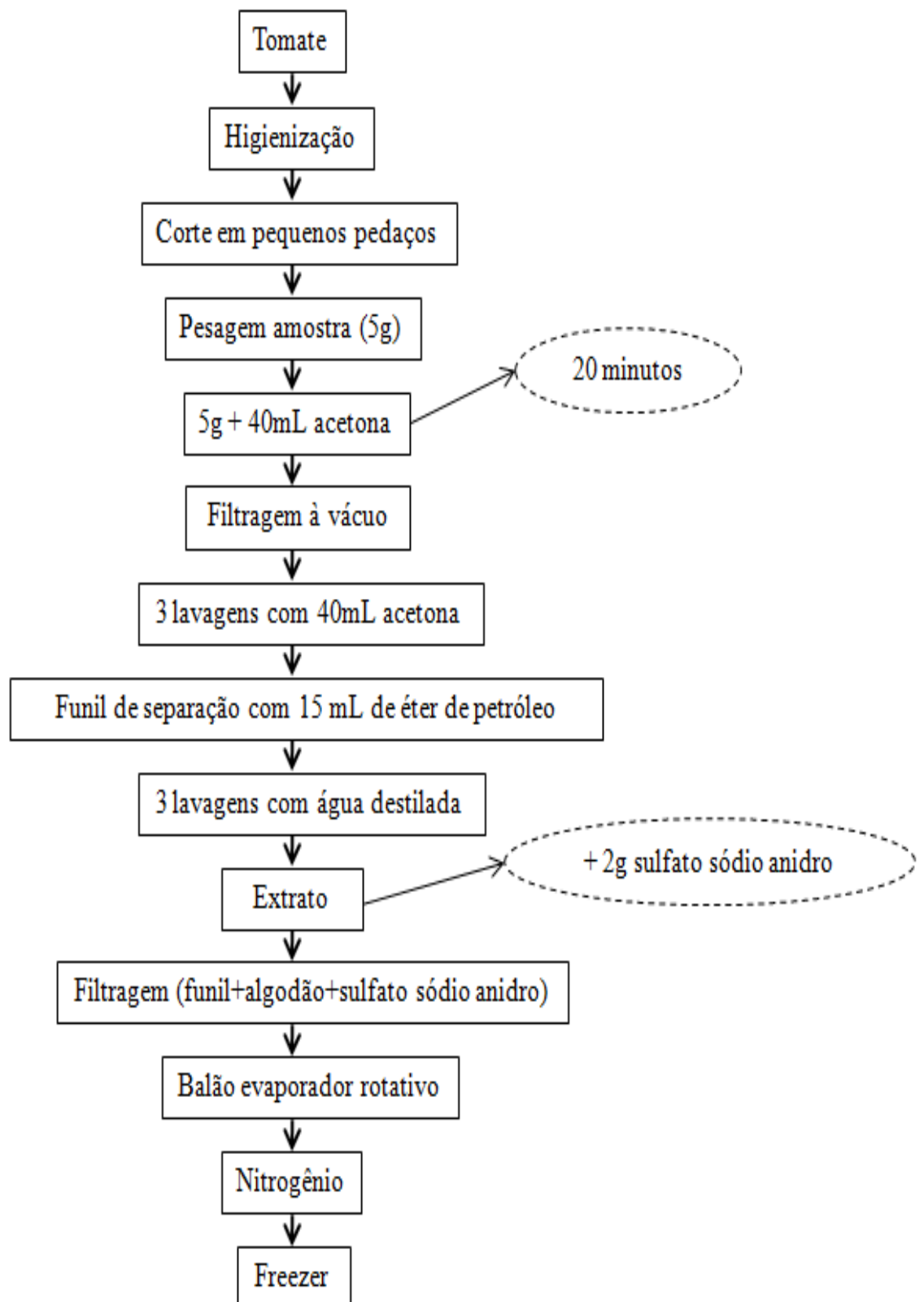


FIGURA 11 – Primeira etapa da análise de carotenóides: extração.

#### 4.4.2.2. Segunda etapa – cromatografia por coluna aberta

A separação efetuou-se em coluna de vidro (dois cm de diâmetro por 13 cm de altura) adaptada a um frasco de Kitassato. O empacotamento ocorreu a vácuo, com uma pequena quantidade de algodão de vidro na base da coluna, seguida de uma mistura de Óxido de Magnésio (MgO):Celite (1:2). No topo da mistura acrescentou-se um cm de sulfato de sódio anidro para reter a água que ainda estivesse presente na amostra.

Adicionou-se, então, éter de petróleo para umedecer a coluna e em seguida retirou-se a amostra do freezer, solubilizando-a com éter e aplicando-a quantitativamente a coluna. Assim que toda a amostra foi adsorvida, a cromatografia foi desenvolvida com éter de petróleo como fase móvel.

Após a separação dos pigmentos, por faixas coloridas correspondentes a cada carotenóide, sendo identificada a banda de interesse, no caso o licopeno, o vácuo é rompido, sendo a sua fração cortada e recolhida em cadinho de placa sinterizada. Este foi lavado com acetona para a retirada dos pigmentos, que foram recolhidos, filtrados e transferidos para o éter de petróleo.

Os filtrados combinados, contendo os pigmentos dissolvidos em acetona, foram transferidos para um funil de separação contendo 15 mL de éter de petróleo.

Uma vez quantitativamente transferidos para o éter de petróleo, lavagens com água destilada (em torno de três) foram efetuadas para assegurar a retirada completa da acetona.

A solução de éter com os pigmentos foi recolhida para um erlenmeyer com aproximadamente duas colheres de sulfato de sódio anidro, com a finalidade de retirar água residual da amostra, sendo posteriormente transferida para um funil com algodão e uma colher de sódio sulfato anidro.

Notadamente as soluções finais de carotenóides (triplicata), foram transferidas para balões volumétricos de 50 mL, tendo o volume completado com éter de petróleo para posterior identificação e quantificação por espectrofotometria nos comprimentos de onda de 350 a 550nm (FIG.12).

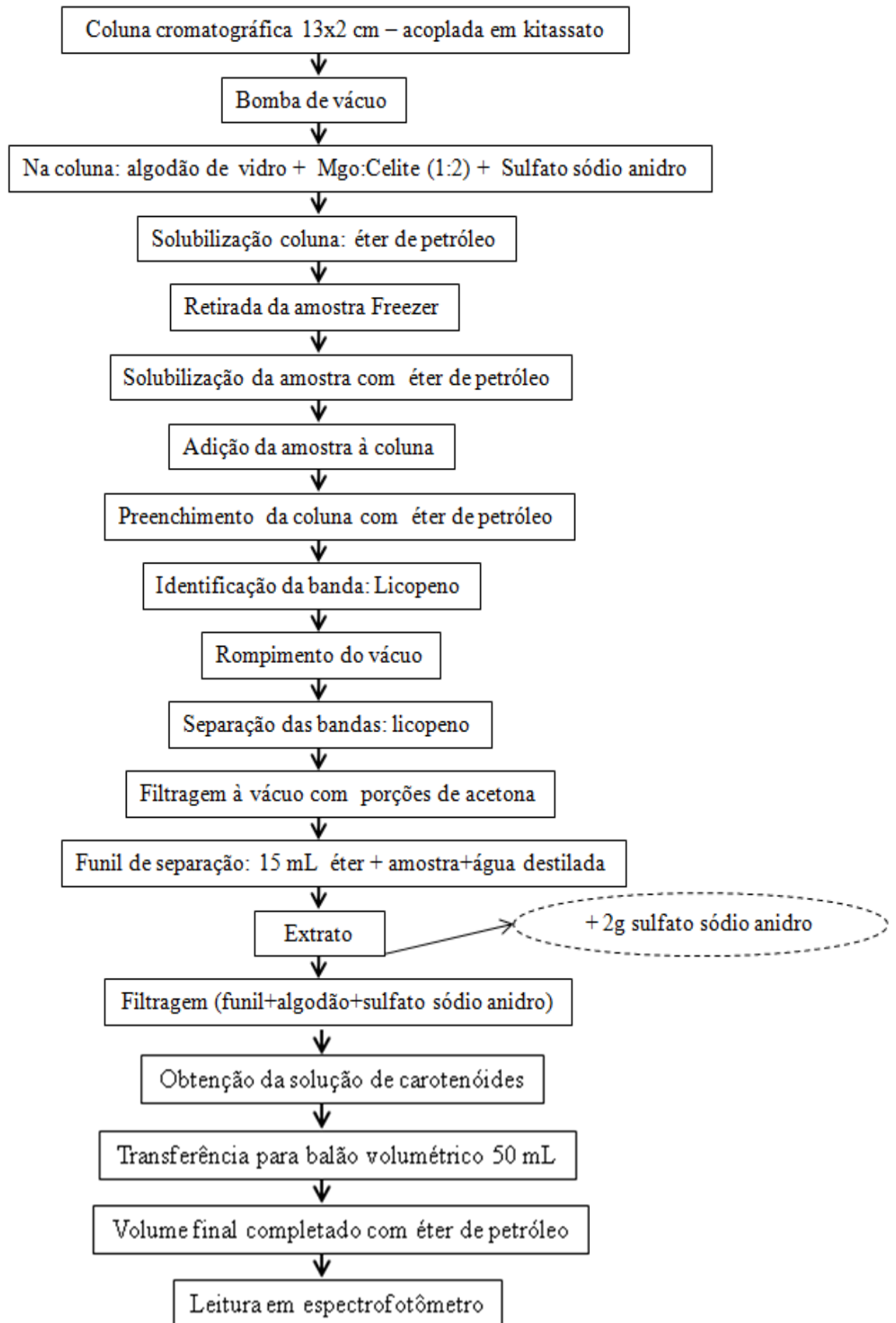


FIGURA 12 – Segunda etapa: cromatografia por coluna aberta.

#### 4.4.2.3. Terceira etapa – quantificação em espectrofotômetro

Os espectros de absorção de cada fração foram obtidos na faixa de comprimento de onda de 350 a 550nm em espectrofotômetro de duplo feixe *SHIMADZU UV-1650PC* acoplado a um computador. Uma vez identificados os picos, foram comparados com os valores já tabelados para vários carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

#### 4.4.2.4. Quarta etapa – quantificação dos carotenóides

A quantificação do licopeno foi realizada a partir da absorbância máxima obtida no espectro de absorção visível e absorvidade correspondente, baseando-se na lei de Beer e usando-se a seguinte equação (2):

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g licopeno/g tomate}) = \frac{(A \times V \times 10^4)}{(A_{1\text{cm}}^{1\%} \times P)} \quad (2)$$

*Em que:*

A é a medida da absorbância;

V é o volume final da solução;

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$  é o coeficiente de absorção, específico para cada pigmento num determinado solvente;

P é o peso da amostra em gramas.

#### 4.5. Molho de tomate

O molho de tomate foi preparado após a realização das análises físico-químicas dos tomates e em função dos resultados da análise de licopeno no tomate *in natura*, selecionando a dose que obteve maior teor de licopeno para utilizar na preparação do molho, objetivando atingir neste uma maior quantificação do carotenóide.



#### 4.5.1. Preparo do molho de tomate

Primeiramente foram selecionados três tomates e higienizados por imersão e aspersão.

Posteriormente foram triturados (com casca e sementes) em um mixer Britânia e submetidos ao cozimento monitorado em 95–97 °C por aproximadamente 7 minutos, conforme metodologia preconizada por Andrade (2004).

Após a cocção, o molho foi batido novamente no mixer Britânia, sendo assim, passado pela peneira (FIG. 13). Foram preparados molhos com a amostra controle (sem irradiação) e molhos com amostra irradiada (dose que obteve maior teor de licopeno).

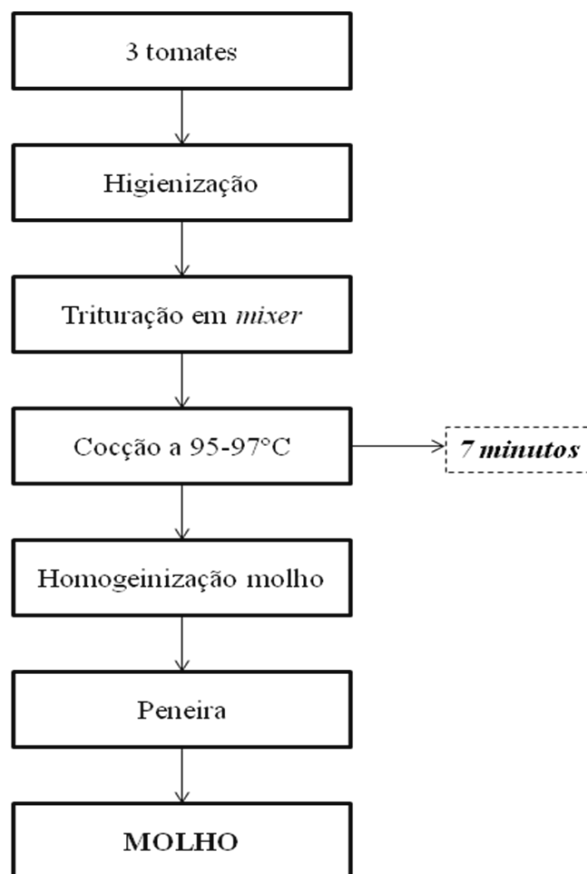


FIGURA 13 – Fluxograma de preparo do molho de tomate.

#### 4.5.2. Determinação de licopeno no molho

A metodologia para quantificação do molho foi a mesma utilizada para os tomates (RODRIGUEZ-AMAYA, 2004), descrita neste trabalho da subseção 4.4.2 até a subseção 4.4.2.4.

#### 4.6. Análise estatística

Os experimentos foram realizados de forma inteiramente casualizada e todos os dados obtidos foram testados quanto à distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) e à homogeneidade das variâncias (testes de Levene e Brown-Forsythe).

Na constatação de que foram satisfeitas as condições para aplicação dos testes estatísticos paramétricos de comparação de médias, as seguintes análises estatísticas foram realizadas:

- a) as comparações com relação à maturação, textura, cor (colorimetria), sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável total e avaliação de massa foram realizadas pela Análise de Variância Bidimensional (Two-way-ANOVA) seguida de *Tukey*.
- b) as comparações com relação ao teor de licopeno dos tomates *in natura* e do molho de tomate foram realizadas pela Análise de Variância Unidimensional (One-way-ANOVA) seguida do teste *Tukey*. No conjunto de dados em que não foram observadas distribuição normal e, principalmente, a homogeneidade das variâncias, testes estatísticos não-paramétricos foram adotados. Para comparação de dois grupos foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis.

Os resultados foram expressos como média dos resultados  $\pm$  desvio padrão. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa STATISTICA 8.0 e adotando-se nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análises físico-químicas

#### 5.1.1. Maturação

Os tomates do Tratamento 1 obtiveram um atraso considerável no amadurecimento em relação aos demais mantendo a coloração esverdeada (em torno de 1.5 – 2.0) até quinze dias após a irradiação (FIG. 14).

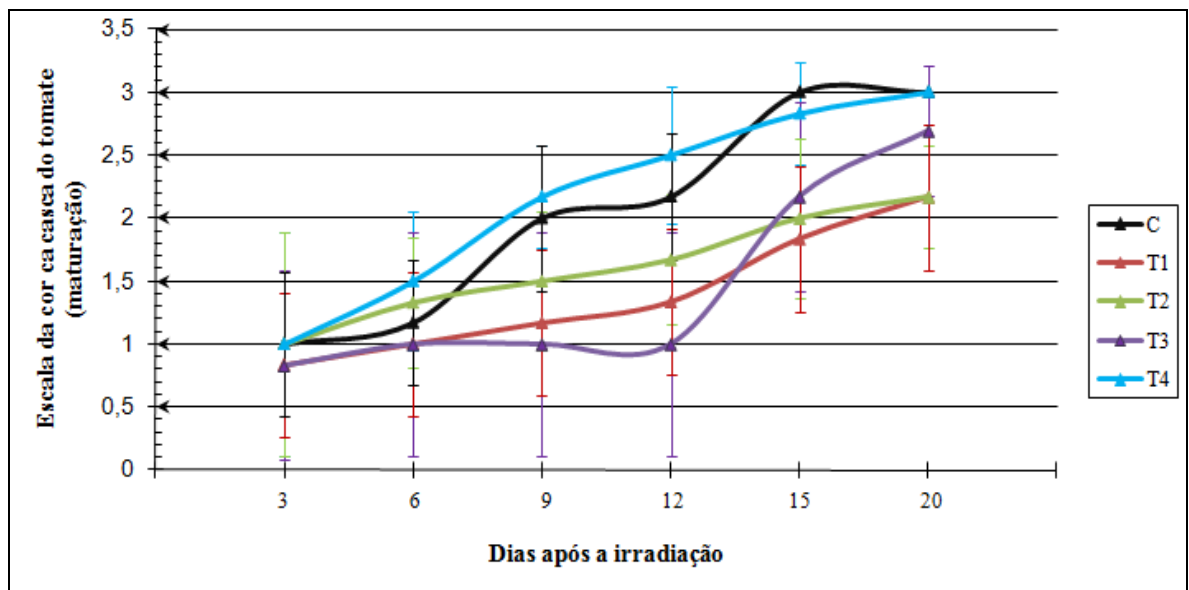


FIGURA 14 – Valores médios ( $n=6$ ) de cor da casca (maturação) para frutos de tomate submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

Os tratamentos 1 e 3 não diferiram estatisticamente até o décimo segundo dia ( $p<0.05$ ). Entretanto os tomates do Controle que ficaram mantidos a 12°C e não foram irradiados, obtiveram a coloração vermelha intensa (três) quinze dias após a irradiação ( $p>0.05$ ), sendo diferente estatisticamente de todos os tratamentos, com exceção do tratamento 4 que também obteve coloração 3 no vigésimo dia de análise.

Contudo, grandes desvios padrões foram encontrados para a maioria das medições dos tratamentos (TAB. 7). Isto provavelmente foi ocasionado devido à heterogeneidade das amostras analisadas, dificultando a visualização dos resultados.

TABELA 7 – Valores médios de maturação para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C</b>	1.00 ± 0.58 <sup>a</sup>	1.17 ± 0.50 <sup>a</sup>	2.00 ± 0.58 <sup>ab</sup>	2.17 ± 0.50 <sup>ab</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>T1</b>	0.83 ± 0.58 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.58 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.58 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.58 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.58 <sup>ab</sup>	1.75 ± 0.58 <sup>ab</sup>
<b>T2</b>	1.00 ± 0.89 <sup>a</sup>	1.33 ± 0.52 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.55 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.52 <sup>a</sup>	2.00 ± 0.63 <sup>ab</sup>	2.17 ± 0.41 <sup>ab</sup>
<b>T3</b>	0.83 ± 0.75 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.89 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.89 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.89 <sup>a</sup>	2.17 ± 0.75 <sup>ab</sup>	2.67 ± 0.52 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	1.00 ± 0.89 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.55 <sup>a</sup>	2.17 ± 0.41 <sup>ab</sup>	2.50 ± 0.55 <sup>ab</sup>	2.83 ± 0.41 <sup>ab</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>b</sup>

\*Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

Em face dos dados obtidos, foram verificadas necessidades de analisar a variação e não o valor absoluto.

Tomando-se por base que gráficos de superfície 3D demonstram tendências de valores em suas dimensões e, suas faixas coloridas representam a distinção de valores e não a série de dados optou-se por analisar o perfil da variação através do gráfico de superfície.

Para tanto foram assumidos os valores de -2, -1, 0, 1 e 2 para os pontos equidistantes respectivamente para os dias e os tratamentos (TAB. 8).

TABELA 8 – Valores dos dias e tratamentos convertidos em pontos equidistantes para o gráfico de superfície.

<b>Dias</b>	<b>Pontos equidistantes assumidos para os dias</b>	<b>Tratamentos</b>	<b>Pontos equidistantes assumidos para os tratamentos</b>
3	-2	C	-2
6	-1	T1 (0.25 kGy)	-1
9	0	T2 (0.5 kGy)	0
12	1	T3 (1.0 kGy)	1
15	2	T4 (2.0 kGy)	2

Considerando que o vigésimo dia se desenquadra dos pontos equidistantes estabelecidos (três em três dias), houve a necessidade de retirá-lo. Como o intuito foi avaliar o perfil da maturação, e não, validar um modelo matemático, a retirada deste dado não prejudicou a análise.

No gráfico de superfície de modelo quadrático foi possível observar as alterações da maturação em função dos dias e das doses (FIG.13).

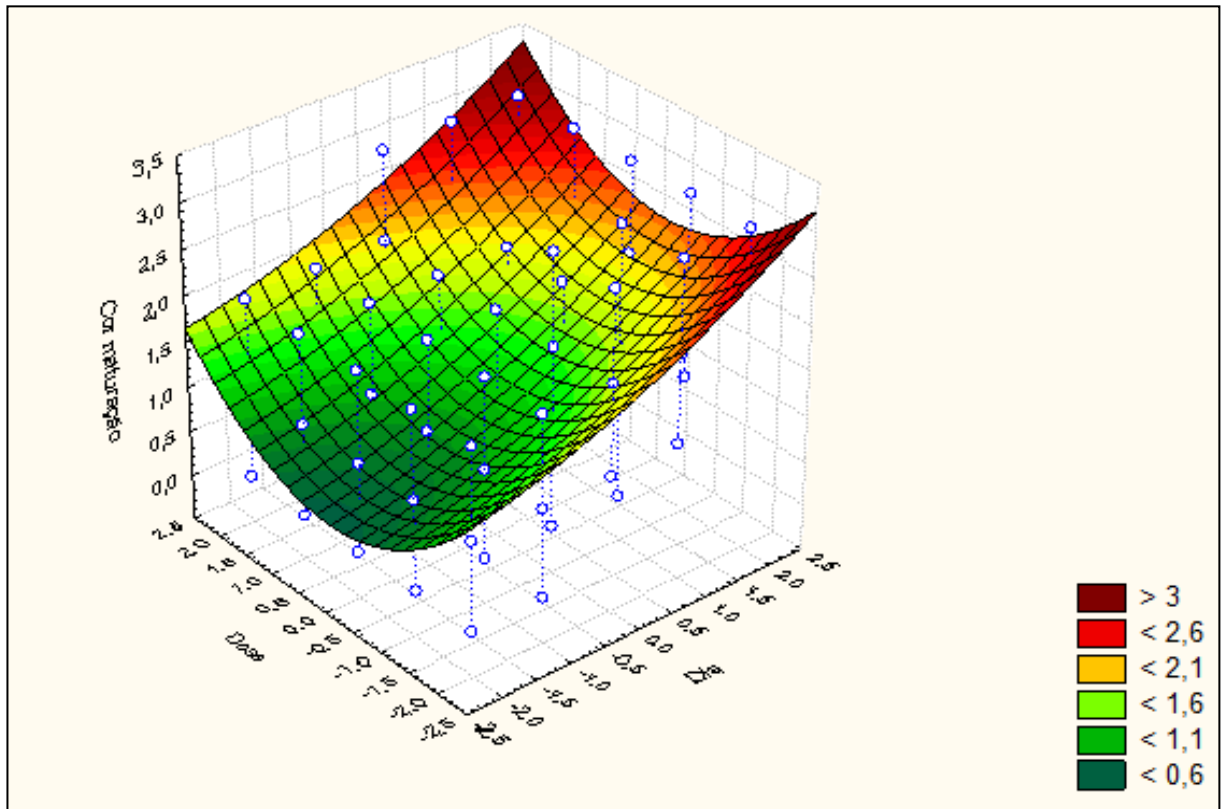


FIGURA 15 – Gráfico de superfície de resposta – modelo quadrático – avaliação da maturação dos tomates.

À medida que se passam os dias, o gráfico sofre uma inclinação vertical (de baixo para cima) correspondente a cor de maturação. Ou seja, a coloração verde no gráfico, está próxima do valor (-2) estabelecido para o Dia 3. Conforme a coloração do gráfico se aproxima do vermelho, mais próximo do dia 15 (2) ela se encontra.

Em relação à dose, foram observadas regiões verde-escuras no centro do gráfico. Estas regiões estão mais baixas e próximas do ponto (-1), (0) e (1), correspondentes respectivamente às doses de 0.25 kGy (T1), 0.5 kGy (T2) e 1.0 kGy (T3), cujos tratamentos mantiveram a coloração verde por mais tempo nos frutos.

Paralelamente a isso, foram observadas elevações nas extremidades vermelhas dos cantos direito e esquerdo do gráfico. Essas regiões correspondem aos valores (-2) e (2), ou seja, ao Controle e à dose de 2.0 kGy (T4) e indicam que os pontos mais altos da cor. Estas informações confirmaram as diferenças estatísticas estabelecidas pelo Tukey ( $p < 0.05$ ), que apresentaram os maiores valores da escala de cor para esses mesmos tratamentos.

Outro aspecto interessante a ser analisado pelo gráfico é a velocidade de maturação (FIG. 15). Os tratamentos 1 e 2 seguraram a coloração verde até o décimo segundo dia, ao passo que no nono dia o controle e o tratamento 4 já apresentaram colorações avermelhadas.

Castricini et al. (2004) observaram uma maior retenção da cor ao analisarem tomates do cultivar Débora Plus irradiados nas doses de 0.25 e 0.5 kGy. Entretanto, os autores notaram que a dose de 1.0 kGy obteve o maior valor de nota (vermelho intenso) dentre todos os tratamentos (C, 0.25, 0.5 e 1.0 kGy). Tais dados corroboram com os resultados do presente trabalho em que as menores doses foram mais eficazes, sendo que a maior apresentou valores de coloração iguais a amostra controle.

De acordo com Giordano et al. (2000), na maturação, o tomate sofre alterações fisiológicas e bioquímicas que induzem a mudança de cor. Segundo o ICGFI (1992), a irradiação de frutos climatéricos no período pré-climatérico produz respostas melhores à irradiação do que frutas irradiadas depois do estágio climatérico.

Uma baixa dose de irradiação em frutos é realizada para desinfestação de insetos, permitindo exportação para países que exigem tratamento que assegurem a segurança microbiológica da fruta retardem o seu amadurecimento.

Cruz et al. (2009) concluíram que o tratamento quarentenário combinado a irradiação na dose de 0.75 kGy apresentou efeitos benéficos no atraso da senescência de mangas, observado principalmente pela análise da coloração da casca e da polpa.

Para os frutos climatéricos a radiação oferece uma combinação de efeitos: desinfestação somado ao retardamento da maturação (ICGFI, 1992). O retardamento da senescência é uma das principais razões para a aplicação da irradiação nas frutas.

Desta forma, foi possível observar que quanto menor a dose, maior o controle da maturação, sendo que a dose de 2.0 kGy obteve coloração igual à amostra controle.

### 5.1.2. Textura (firmeza)

Os valores obtidos em texturômetro podem ser analisados através da TAB. 9.

TABELA 9 – Valores médios de força máxima (N/s) para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C</b>	6.10 ± 0.99 <sup>ab</sup>	6.13 ± 0.75 <sup>ab</sup>	7.53 ± 1.62 <sup>b</sup>	5.93 ± 1.02 <sup>ab</sup>	7.14 ± 1.10 <sup>b</sup>	5.18 ± 1.66 <sup>ab</sup>
<b>T1</b>	6.14 ± 1.38 <sup>ab</sup>	6.86 ± 1.31 <sup>ab</sup>	6.52 ± 1.61 <sup>ab</sup>	7.09 ± 1.16 <sup>b</sup>	6.98 ± 1.42 <sup>b</sup>	7.13 ± 0.79 <sup>b</sup>
<b>T2</b>	7.60 ± 1.23 <sup>b</sup>	6.44 ± 0.91 <sup>ab</sup>	6.91 ± 1.32 <sup>ab</sup>	6.99 ± 2.28 <sup>b</sup>	6.68 ± 1.13 <sup>ab</sup>	6.32 ± 1.15 <sup>ab</sup>
<b>T3</b>	5.75 ± 1.13 <sup>ab</sup>	5.76 ± 1.51 <sup>ab</sup>	6.09 ± 2.15 <sup>ab</sup>	6.11 ± 0.72 <sup>ab</sup>	6.50 ± 1.32 <sup>ab</sup>	4.89 ± 1.17 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	5.01 ± 0.94 <sup>ab</sup>	5.69 ± 1.20 <sup>ab</sup>	5.65 ± 1.54 <sup>ab</sup>	5.09 ± 1.32 <sup>ab</sup>	4.65 ± 0.43 <sup>a</sup>	-

\* Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

- Ausência de tomates para realização da análise, em função da deterioração pela alta dose.

Foram observadas visíveis diferenças entre o Tratamento 4 no dia 15 e os demais. A força máxima aplicada para a ruptura da casca do tomate do T4 foi estatisticamente diferente (p<0.05): do Controle nos dias 9 e 15; do Tratamento 1 nos dias 12, 15 e 20 e do Tratamento 2 nos dias 3 e 12. Tal informação pode ser melhor ilustrada através da FIG. 16.

Isso pode ser justificado pelo fato de que quando estes frutos amadurecem ocorre uma degradação das substâncias pécticas, gerando amolecimento da polpa.

Notadamente, Gagnon et al. (1993) afirmaram que o tecido torna-se progressivamente menos resistente sob altas dosagens de radiação. Porém, sensorialmente, esta alteração não é significativa a dosagens de até 1000 Gy.

Broisler et al. (2007) ao compilar os resultados obtidos no teste de aceitação da análise sensorial envolvendo mangas irradiadas a 0.5 kGy e 0.75 kGy, não observou diferenças estatísticas para os parâmetros de cor, sabor e textura.

Estes resultados diferem dos obtidos por Silva et al. (2007b). Os autores avaliaram mangas cv. Tommy Atkins nas doses de 200, 400 e 600 Gy. Tais frutos foram analisados quanto aos parâmetros físico-químicos e sensoriais. Os resultados indicaram que apesar da radiação ter sido eficiente na firmeza da polpa e da casca, os testes sensoriais

indicaram uma maior aceitabilidade do grupo controle, devido a um escurecimento causado pela aplicação das doses.

De acordo com o ICGFI (1992), a radiação pode levar a mudanças na composição química das frutas. As alterações na textura ocorrem devido às mudanças na pectina e na celulose e podem ser um fator limitante na quantidade de radiação empregada na fruta.

Sendo assim, a ausência de diferença estatística entre os Tratamentos 3 e 4 ( $p>0.05$ ), pode ser correlacionada com a influência de que maiores doses podem degradar os polissacarídeos de parede, gerando uma hidrólise e posterior perda de firmeza dos frutos (SANTIN, 2000). Isso pôde ser observado principalmente pela ausência de tomates do T4, que tiveram sua estrutura amolecida pela radiação e acabaram deteriorando precocemente, em torno do décimo oitavo dia. Isso impossibilitou a realização das análises deste tratamento no vigésimo dia.

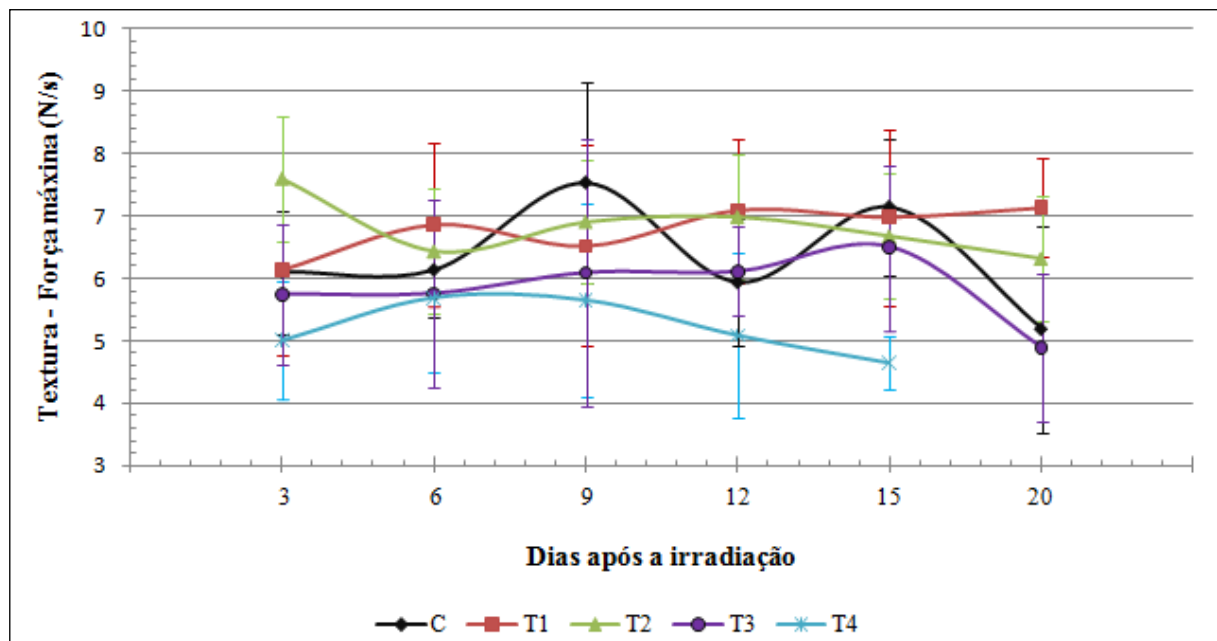


FIGURA 16 – Valores médios de força máxima obtidos em (N/s) para textura de tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

Desta forma, foram observados que as doses de 0.25 kGy e 0.5 kGy mantiveram uma firmeza um pouco mais rígida, quando comparados ao controle e às doses de 1.0kGy e 2.0 kGy, porém não obtiveram diferença estatística significativa ( $p>0.05$ ), conforme demonstrou a TAB. 9.



Além disso, foi observado que apesar das análises terem sido realizadas até o período de vinte dias após a irradiação, os tomates do Tratamento 1 ainda se mantiveram esverdeados até o vigésimo terceiro dia. Sendo que todos os tratamentos atingiram a sua maturação no vigésimo sétimo dia, com posterior amolecimento e apodrecimento.

### 5.1.3. Cor (colorimetria)

As leituras dos valores foram sistematizadas adotando-se modelo matemático, em que os parâmetros mais relevantes são: “C” (cromaticidade) e “h” (ângulo da cor).

Foi possível observar que o parâmetro “C” de cor, que representa a cromaticidade média das amostras de tomate, define a saturação, e a tonalidade da cor, é definida pelo h. Quanto maior o cromatismo pode-se dizer que a cor é mais saturada e intensa (no caso vermelho), como é demonstrado em torno no vigésimo dia.

O parâmetro “h” define a tonalidade média das amostras de tomates. Quanto maior o ângulo de cor (h) obtido, significa que a cor do fruto está mais próxima do amarelo e quanto menor o ângulo, mais a cor se aproxima do vermelho (BORGUINI & SILVA, 2005), confirmado pelos resultados demonstrados na FIG. 17.

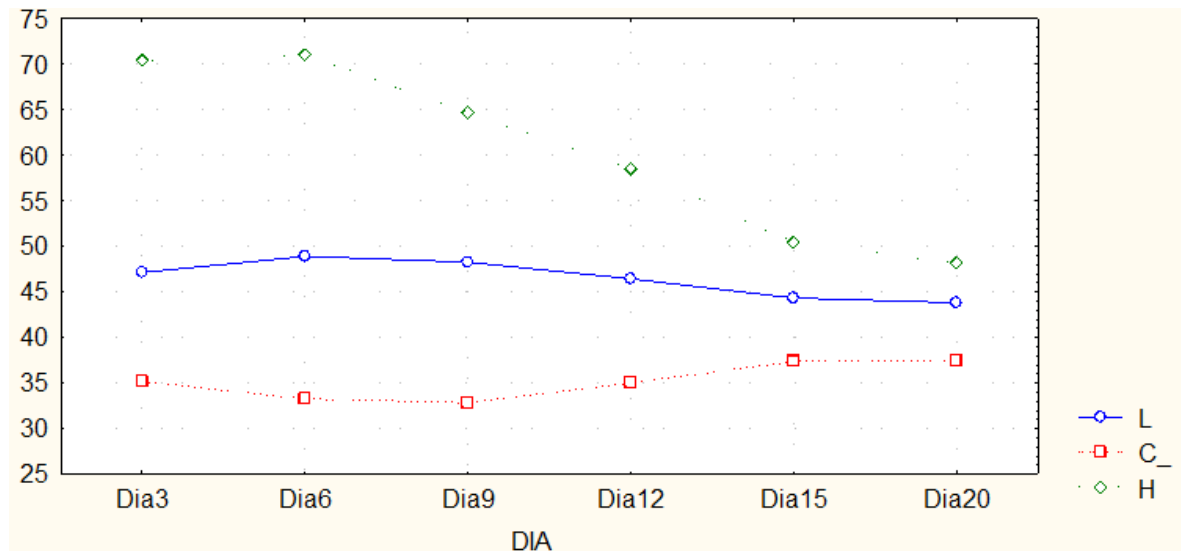


FIGURA 17 – Análise colorimétrica de tomates – Médias  $\pm$  6 tomates – (agrupamento de tratamentos – Statistica Software). Legenda: L: luminosidade; C: cromaticidade e h: ângulo da cor.

Este gráfico demonstra o comportamento da maturação ao longo dos vinte dias, independente do tratamento. Pode-se observar que no terceiro dia após a irradiação o ângulo de  $h$  está maior, o que significa que ele está mais próximo do verde. À medida que ele se aproxima do vigésimo dia, ele diminui, porque está mais próximo do vermelho (FIG.18).

O padrão L, luminosidade, se manteve constante durante o período. Ao passo que o C, que é a cromaticidade, indica valores mais intensos no terceiro dia, provavelmente devido à coloração bem verde, que decai até o nono dia, e a partir do décimo segundo volta a subir em função da cor vermelha que começa a se intensificar.

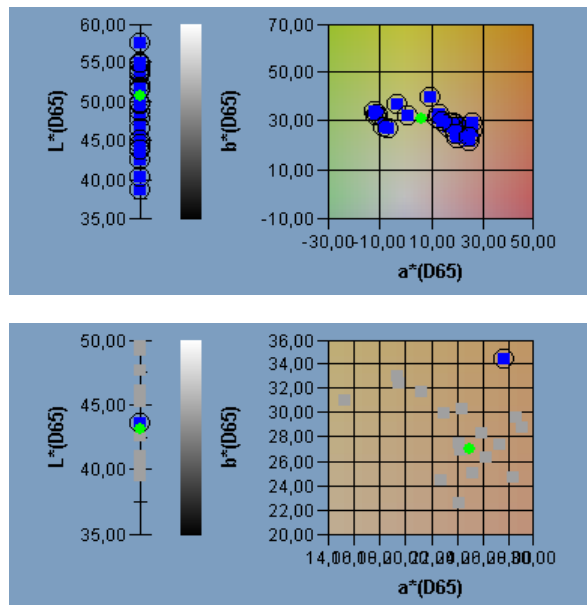


FIGURA 18 – Gráfico da coloração dos tomates seis dias (acima) e vinte dias após a irradiação (abaixo) – obtido do programa do colorímetro.

Em virtude de terem sido realizadas três medições diferentes em cada fruto analisado, os resultados do tratamento 1, 2, 3 e 4 se tornaram muito próximos, por terem mais de um tipo de coloração nos tomates do mesmo tratamento.

Os desvios entre as amostras foram grandes, não demonstrando diferença estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre os diferentes tratamentos, sendo incoerente estabelecer uma correlação para esta análise.

Os resultados para a luminosidade, cromaticidade e ângulo de cor não demonstraram diferença estatística ( $p > 0.05$ ), conforme demonstram as TAB. 10, 11 e 12.

TABELA 10 – Valores médios de L (luminosidade) da análise colorimétrica para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25 kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C*</b>	48.35 <sup>a</sup>	50.65 <sup>a</sup>	49.74 <sup>a</sup>	45.67 <sup>a</sup>	44.05 <sup>a</sup>	43.08 <sup>a</sup>
<b>T1</b>	46.46 ± 6.86 <sup>a</sup>	49.75 ± 4.29 <sup>a</sup>	46.98 ± 6.24 <sup>a</sup>	48.64 ± 5.43 <sup>a</sup>	46.44 ± 4.46 <sup>a</sup>	45.94 ± 3.68 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	48.19 ± 4.87 <sup>a</sup>	48.14 ± 6.22 <sup>a</sup>	47.50 ± 3.63 <sup>a</sup>	44.23 ± 3.25 <sup>a</sup>	45.24 ± 3.20 <sup>a</sup>	44.68 ± 3.29 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	46.09 ± 7.14 <sup>a</sup>	48.86 ± 5.98 <sup>a</sup>	49.23 ± 6.25 <sup>a</sup>	49.30 ± 6.87 <sup>a</sup>	42.35 ± 2.36 <sup>a</sup>	42.35 ± 2.36 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	46.66 ± 6.12 <sup>a</sup>	47.28 ± 5.59 <sup>a</sup>	47.93 ± 4.78 <sup>a</sup>	44.43 ± 3.86 <sup>a</sup>	43.64 ± 1.70 <sup>a</sup>	43.14 ± 2.06 <sup>a</sup>

Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

\* Valores médios da amostra controle com desvio indeterminado.

As amostras controle para todos os parâmetros (L, C e h) não apresentam variação (0.00), devido ao colorímetro exigir um padrão para ter como comparar a cor entre as amostras. Esse padrão nada mais é do que a média dos seis tomates controle, estabelecidos em um único valor (média controle ± 0.00). Desta forma os tomates irradiados são automaticamente comparados aos tomates controle.

TABELA 11 – Valores médios de h (ângulo da cor) da análise colorimétrica para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C*</b>	68.50 <sup>a</sup>	78.79 <sup>a</sup>	65.58 <sup>a</sup>	55.69 <sup>a</sup>	50.66 <sup>a</sup>	47.21 <sup>a</sup>
<b>T1</b>	70.62 ± 23.45 <sup>a</sup>	73.70 ± 27.85 <sup>a</sup>	65.03 ± 30.51 <sup>a</sup>	64.87 ± 20.92 <sup>a</sup>	57.55 ± 20.31 <sup>a</sup>	50.33 ± 7.38 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	71.30 ± 19.74 <sup>a</sup>	65.77 ± 24.50 <sup>a</sup>	58.07 ± 8.39 <sup>a</sup>	53.54 ± 7.08 <sup>a</sup>	51.82 ± 7.92 <sup>a</sup>	51.04 ± 7.81 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	70.49 ± 30.44 <sup>a</sup>	67.11 ± 19.39 <sup>a</sup>	72.44 ± 28.55 <sup>a</sup>	65.89 ± 13.31 <sup>a</sup>	47.61 ± 3.42 <sup>a</sup>	47.61 ± 3.42 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	71.34 ± 27.05 <sup>a</sup>	70.08 ± 29.26 <sup>a</sup>	62.29 ± 15.80 <sup>a</sup>	52.88 ± 7.08 <sup>a</sup>	44.69 ± 1.69 <sup>a</sup>	44.89 ± 1.10 <sup>a</sup>

Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

\* Valores médios da amostra controle com desvio indeterminado.

TABELA 12 – Valores médios de C (cromaticidade) da análise colorimétrica para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C*</b>	33.61 <sup>a</sup>	31.36 <sup>a</sup>	33.68 <sup>a</sup>	37.12 <sup>a</sup>	37.21 <sup>a</sup>	36.76 <sup>a</sup>
<b>T1</b>	35.24 ± 4.04 <sup>a</sup>	33.31 ± 1.74 <sup>a</sup>	32.34 ± 2.67 <sup>a</sup>	35.51 ± 3.86 <sup>a</sup>	36.55 ± 2.84 <sup>a</sup>	37.94 ± 1.74 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	35.89 ± 3.51 <sup>a</sup>	34.88 ± 4.13 <sup>a</sup>	33.24 ± 2.90 <sup>a</sup>	33.44 ± 2.80 <sup>a</sup>	37.78 ± 2.96 <sup>a</sup>	37.30 ± 2.93 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	37.55 ± 4.12 <sup>a</sup>	34.89 ± 2.59 <sup>a</sup>	32.70 ± 2.60 <sup>a</sup>	34.74 ± 3.54 <sup>a</sup>	37.96 ± 3.40 <sup>a</sup>	37.78 ± 3.62 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	33.61 ± 2.66 <sup>a</sup>	32.00 ± 3.00 <sup>a</sup>	32.25 ± 3.49 <sup>a</sup>	34.45 ± 2.69 <sup>a</sup>	37.50 ± 3.05 <sup>a</sup>	37.68 ± 3.01 <sup>a</sup>

Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

\* Valores médios da amostra controle com desvio indeterminado.

Os resultados obtidos condizem com Borguini & Silva (2005), que também não apresentaram diferença na análise por colorímetro de tomates Carmem e Débora.

As autoras apresentaram 56,41 ± 11,68 para “h” e 35,39 ± 1,98 para “C” de tomates do cv. Débora e 66,26 ± 14,58 para “h” e 31,53 ± 1,83 para “C” de tomates pertencentes ao cv. Carmem.

Desta forma, como essa análise gera um número excessivo de dados, foi estabelecido um padrão mais coerente pelos resultados tratados pela análise de superfície, demonstrada no item 5.1.1.

#### 5.1.4. Sólidos solúveis totais

Na análise dos resultados de sólidos solúveis, foi possível observar que o T2 (0.5 kGy) obteve baixo teor, se comparado aos demais tratamentos, apresentando diferença estatística ( $p < 0.05$ ) no vigésimo dia de análise, com o valor de 4.2°Brix, conforme demonstra a TAB. 13.

TABELA 13 – Valores médios de sólidos solúveis para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C</b>	4.42 ± 0.34 <sup>ab</sup>	4.55 ± 0.30 <sup>ab</sup>	4.85 ± 0.19 <sup>ab</sup>	4.57 ± 0.41 <sup>ab</sup>	4.43 ± 0.44 <sup>ab</sup>	4.73 ± 0.19 <sup>ab</sup>
<b>T1</b>	4.67 ± 0.27 <sup>ab</sup>	4.50 ± 0.40 <sup>ab</sup>	4.82 ± 0.17 <sup>ab</sup>	4.82 ± 0.37 <sup>ab</sup>	4.66 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.57 ± 0.40 <sup>ab</sup>
<b>T2</b>	4.93 ± 0.14 <sup>b</sup>	4.72 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.92 ± 0.25 <sup>b</sup>	4.8 ± 0.19 <sup>ab</sup>	4.37 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.22 ± 0.23 <sup>a</sup>
<b>T3</b>	4.67 ± 0.48 <sup>ab</sup>	4.53 ± 0.32 <sup>ab</sup>	4.57 ± 0.19 <sup>ab</sup>	4.63 ± 0.31 <sup>ab</sup>	4.68 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.73 ± 0.32 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	4.62 ± 0.24 <sup>ab</sup>	5 ± 0.17 <sup>b</sup>	4.78 ± 0.28 <sup>ab</sup>	4.73 ± 0.18 <sup>ab</sup>	4.65 ± 0.43 <sup>ab</sup>	-

\* Valores médios ± desvio padrão de 6 tomates. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey ( $p < 0.05$ ).

- Ausência de tomates para realização da análise, em função da deterioração pela alta dose.

Foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) no vigésimo dia do Tratamento 2, em relação aos dias: 3 e 9 – Tratamento 2; e dia 6 – Tratamento 4.

Tais resultados denotam que a redução de sólidos solúveis obtida no final das análises pode ser resultante dos próprios fatores intrínsecos do fruto, e não somente em função da dose de 0.5 kGy aplicada. Esses dados podem ser visualizados através da FIG. 19.

Menores valores de sólidos solúveis são requeridos para retardar a senescência de tomates, ao passo que para a indústria são desejáveis maiores valores em vista do rendimento industrial. Tavares & Rodriguez-Amaya (1994) avaliaram conteúdo de sólidos solúveis totais de tomates pertencentes ao cultivar Santa Clara comercializados em Campinas (SP) e obtiveram valores entre 3.8 e 4.6 °Brix. Ao passo que Borguini & Silva (2005), apresentaram quantificações de SST em torno de 4.9 °Brix para tomates do cultivar Débora.

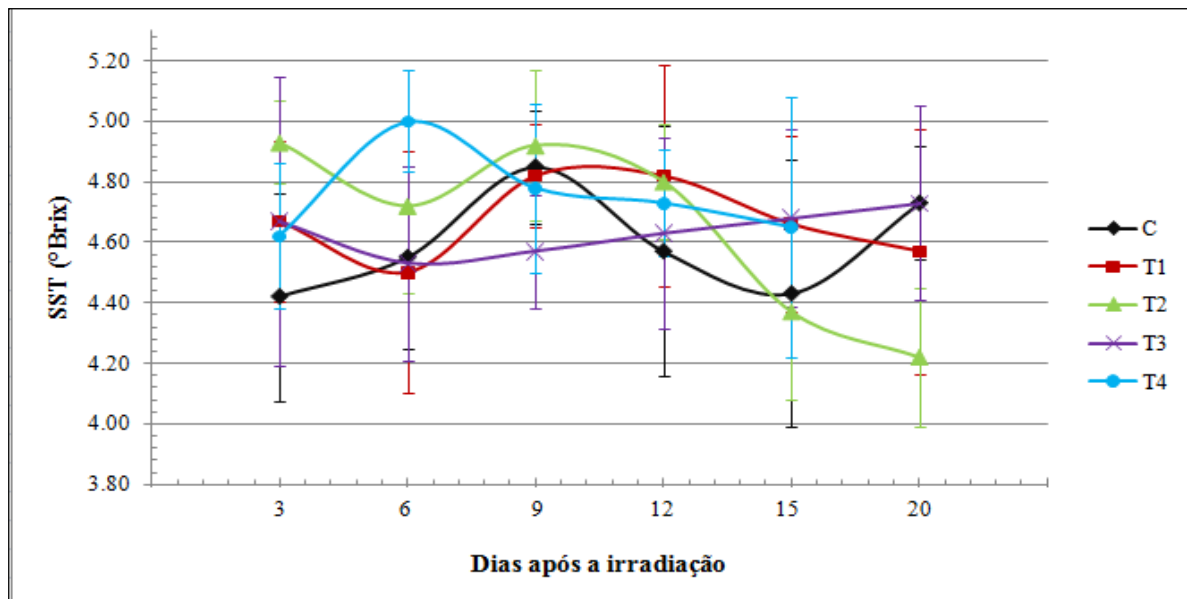


FIGURA 19 – Valores médios de sólidos solúveis totais expressos em °Brix para frutos de tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

No caso de frutos, os sólidos solúveis totais têm tendência a exibir maior concentração com a evolução da maturação, devido aos processos de biossíntese. Segundo Chitarra & Chitarra (1990), o conteúdo de sólidos solúveis totais representa uma das melhores formas de avaliação do grau de doçura do produto.

Kluge & Minami (1997) afirmaram que o teor de SST encontrado nos tomates pode estar relacionado ao grau de amadurecimento, pois amostras constituídas de frutos mais maduros apresentaram maior teor de SST. Tais dados se confirmaram no presente trabalho, considerando que o T2 manteve a coloração esverdeada, portanto obtendo uma menor correlação de sólidos solúveis.

Zambrano et al. (1996) mencionaram similar comportamento para sólidos solúveis totais nos estádios de maturação verde maduro (4.45 e 4.46 °Brix), e vermelho (4.92 e 4.91 °Brix) para as cultivares convencional Rio Grande e Walter submetidas à temperatura ambiente (24°C) e 70% - 80%UR durante 12 dias.

Ao passo que Moretti et al. (2002) ao analisarem tomates cv. Santa Clara submetidos à temperatura de 22°C a 23°C apresentaram significativa queda, com valores menores de 4.0°Brix a partir do oitavo dia de experimento.

Tendo como base tais valores e as variáveis: tempo e temperatura, pode-se deduzir que ocorrem divergências entre autores, uma vez que em alguns à medida que

aumenta a temperatura e o tempo de estoque a concentração de SST é maior, e em outros ocorre o inverso.

As variações do teor SST são decorrentes de fatores diversos, como genética da cultivar, estágio de maturação do fruto, processos transpiratórios do fruto, temperatura, entre outros (ZAMBRANO et al., 1996).

Desta forma, as diferenças estatísticas obtidas da análise de sólidos solúveis podem ter sido influenciadas mais pelas propriedades intrínsecas dos frutos, do que em função das doses de radiação ou dias de análise.

### 5.1.5. pH

Os resultados indicaram uma diminuição do pH até o nono dia para todos os tratamentos e um aumento sutil no vigésimo dia. Isso pode ser justificado pelo fato de que o pH decresce significativamente com os sinais de maturação e aumenta levemente com o estágio passado (AL-SHAIBANI & GREIG, 1979).

A perda de acidez dos frutos que já atingiram a maturação é devido à capacidade destes de sintetizar ácidos orgânicos, levando ao aumento do pH, como é possível observar na TAB. 14.

TABELA 14 – Valores médios de pH para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
Trat.						
C	4.70 ± 0.05 <sup>m</sup>	4.58 ± 0.02 <sup>kl</sup>	4.42 ± 0.06 <sup>defg</sup>	4.39 ± 0.08 <sup>bcdef</sup>	4.38 ± 0.03 <sup>bcd</sup>	4.56 ± 0.03 <sup>jkl</sup>
T1	4.63 ± 0.01 <sup>lm</sup>	4.52 ± 0.09 <sup>ijk</sup>	4.39 ± 0.04 <sup>cdef</sup>	4.42 ± 0.04 <sup>defg</sup>	4.25 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.36 ± 0.02 <sup>bcd</sup>
T2	4.45 ± 0.09 <sup>efghi</sup>	4.46 ± 0.03 <sup>efghi</sup>	4.37 ± 0.06 <sup>bcd</sup>	4.36 ± 0.04 <sup>bcd</sup>	4.32 ± 0.01 <sup>abc</sup>	4.38 ± 0.06 <sup>bcd</sup>
T3	4.46 ± 0.08 <sup>efghi</sup>	4.50 ± 0.08 <sup>hij</sup>	4.37 ± 0.08 <sup>bcd</sup>	4.46 ± 0.05 <sup>fghi</sup>	4.31 ± 0.04 <sup>ab</sup>	4.36 ± 0.03 <sup>bcd</sup>
T4	4.38 ± 0.03 <sup>bcde</sup>	4.49 ± 0.03 <sup>ghij</sup>	4.42 ± 0.04 <sup>defg</sup>	4.48 ± 0.04 <sup>ghi</sup>	4.37 ± 0.05 <sup>bcd</sup>	-

\* Valores médios ± desvio padrão de 3 análises. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

- Ausência de tomates para realização da análise, em função da deterioração pela alta dose.

Entretanto, pequenas oscilações geraram diversas diferenças estatísticas, que não estão necessariamente relacionadas com o tratamento ou com o dia de análise, ocasionando numa dificuldade de interpretação, inclusive graficamente (FIG. 20).

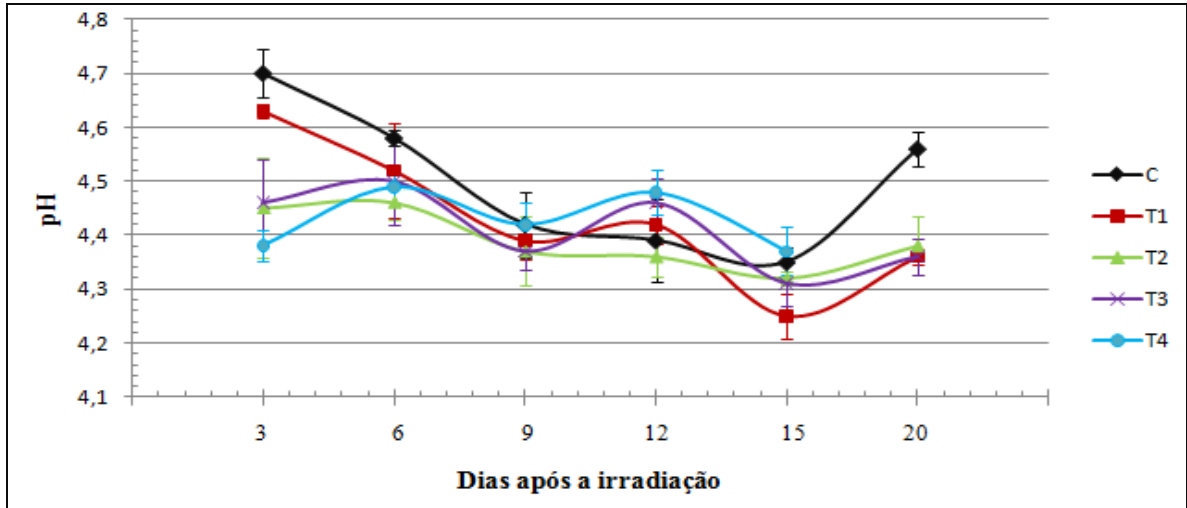


FIGURA 20 – Valores médios de pH para frutos de tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

Para tanto, tornou-se necessário avaliar o perfil da variação e não o valor absoluto dos resultados.

Valendo-se de que gráficos de superfície 3D demonstram tendências de valores em suas dimensões e, suas faixas coloridas representam a distinção de valores e não a série de dados optou-se por analisar o perfil da variação através do gráfico de superfície.

Sendo assim, foram assumidos os valores de -2, -1, 0, 1 e 2 para os pontos equidistantes respectivamente para os dias e os tratamentos (TAB. 15).

TABELA 15 – Valores dos dias e tratamentos convertidos em pontos equidistantes para o gráfico de superfície.

Dias	Pontos equidistantes assumidos para os dias	Tratamentos	Pontos equidistantes assumidos para os tratamentos
3	-2	C	-2
6	-1	T1 (0.25 kGy)	-1
9	0	T2 (0.5 kGy)	0
12	1	T3 (1.0 kGy)	1
15	2	T4 (2.0 kGy)	2

Considerando que o vigésimo dia se desenquadra dos pontos equidistantes estabelecidos (três em três dias), houve a necessidade de retirá-lo. Foram realizados



gráficos de superfície de modelo linear e quadrático, porém o segundo foi selecionado visto que demonstrou ser mais adequado (FIG.21).

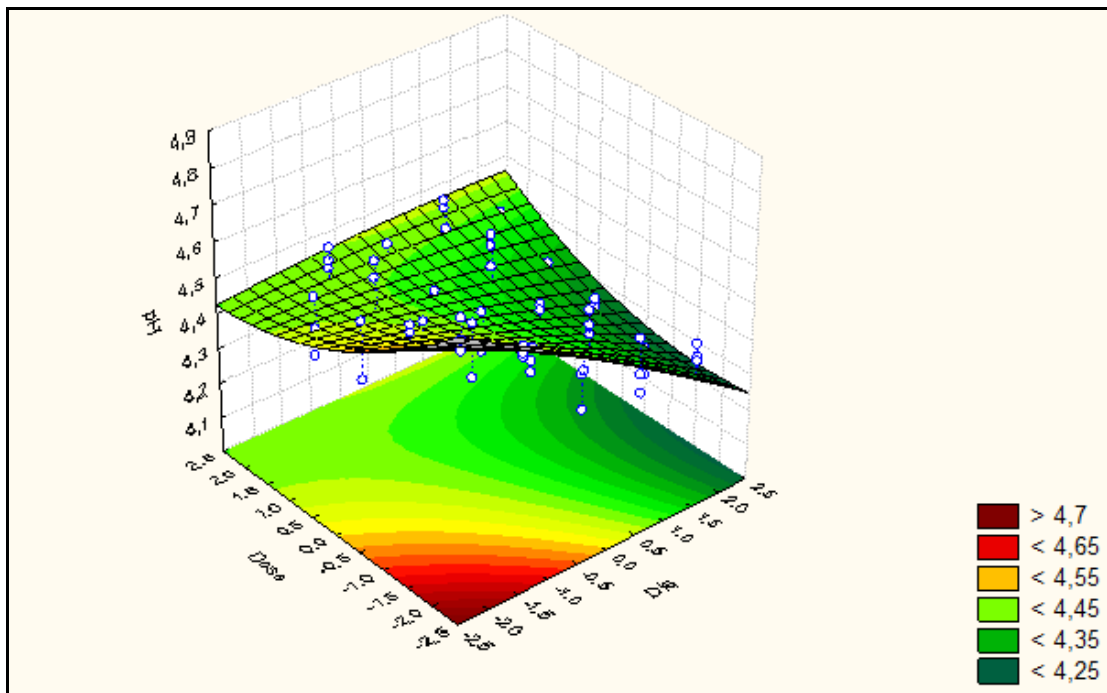
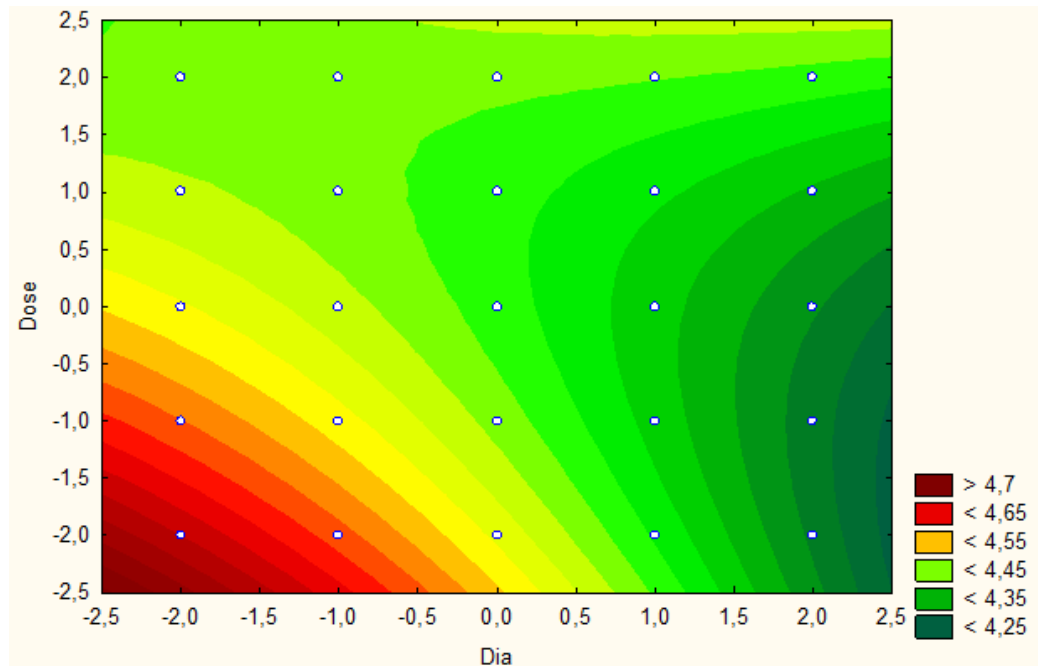


FIGURA 21 – Gráfico de superfície de resposta – modelo quadrático – avaliação pH dos tomates.

Foram observadas as alterações do pH em função dos dias e das doses. Analisando o gráfico, é possível notar que a superfície sofre uma pequena elevação no ponto (-2) do dia com um posterior decréscimo à medida que se aproxima da outra extremidade, (ponto 2). Ou seja, o pH se mostra alto quando os tomates ainda se encontram verdes no começo das análises, dia 3, e decresce quando inicia o seu estágio de amadurecimento.

As regiões mais escuras do gráfico estão relacionadas com os maiores valores de pH. Sendo assim, a localização vermelha correlaciona o ponto (-2) da dose com o ponto (-2) do dia, representando respectivamente o tratamento controle no dia 3. Esta descrição pode ser visualizada mais claramente no piso do gráfico de superfície (FIG.22).



*FIGURA 22 – Piso do gráfico de superfície de resposta – modelo quadrático – avaliação pH dos tomates.*

Interligando o ponto (-2) do dia com o ponto (-2) da dose, obtém-se o maior valor de pH encontrado: o do controle no dia 3.

Já ao serem correlacionados os pontos (2) do dia com o (2) da dose, são observadas colorações verde-claras para o tratamento 4 no décimo quinto dia, o que indica decréscimo de pH, ou seja, início do amadurecimento denominado: “estádio passado”. Essa informação se confirmou na prática, visto que para as análises do dia 20, não haviam tomates deste tratamento, em função de um amadurecimento precoce provavelmente ocasionado em função da dose de 2.0 kGy.

Mediante tais dados, pode-se observar que as amostras tratadas por radiação apresentaram valores de pH abaixo de 4.5 ao longo das análises, fato este que é desejado para inibir a proliferação de microorganismos.

De acordo com Pazinato & Galhardo (1997) o tomate apresenta pH abaixo de 4.5, quando está em condições fisiológicas adequadas. Lisiewska & Kmiecik (2000) registraram pH de 4.18 em tomates cv. Micra RS no estágio vermelho de maturação, enquanto que Gómez & Camelo (2002) encontraram um pH entre 4.06 a 4.70 em cultivares Diva. Borguini & Silva (2003) encontraram um pH de 4.4 para tomate cv. Carmen convencional e 4.3 para a orgânica e cv. Débora convencional e 4.2 para cv. Débora orgânica.

Desta forma, os resultados de pH estão condizentes com a literatura, demonstrando que os tratamentos 1, 2 e 3 foram eficazes na manutenção do pH abaixo de 4.5.

### 5.1.6. Acidez titulável total (% ácido cítrico)

Os tratamentos com radiação gama proporcionaram oscilações nos valores de ATT, durante o período de avaliação dos tomates (TAB. 16).

TABELA 16 – Valores médios de % ácido cítrico (ATT) para tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 20
<b>Trat.</b>						
<b>C</b>	0.30 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.30 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.25 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.30 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.33 ± 0.05 <sup>ab</sup>
<b>T1</b>	0.30 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.26 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.37 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.32 ± 0.03 <sup>ab</sup>
<b>T2</b>	0.39 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.33 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>ab</sup>
<b>T3</b>	0.34 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.42 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.03 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	0.38 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.35 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>b</sup>	-

\* Valores médios ± desvio padrão de 3 análises. Letras iguais na mesma linha ou coluna, não diferem entre si estatisticamente. Resultados analisados por Two-way-ANOVA, seguida de Tukey (p<0.05).

- Ausência de tomates para realização da análise, em função da deterioração pela alta dose.

Foram encontradas diferenças estatísticas (p<0.05) referentes ao dia 15, nos tratamentos 3 e 4 em relação a todos os tratamentos do nono dia e no terceiro dia T2. Considerando as pequenas oscilações identificadas, os valores obtidos foram muito próximos, sendo a acidez praticamente igual para todos os tratamentos estudados ao término dos vinte dias (FIG.23).

O mesmo foi observado em trabalho realizado por Cia et al. (2000), em experimento com uva Itália, no qual foi observada a manutenção e o não comprometimento nos teores de ATT pela aplicação de radiação gama.

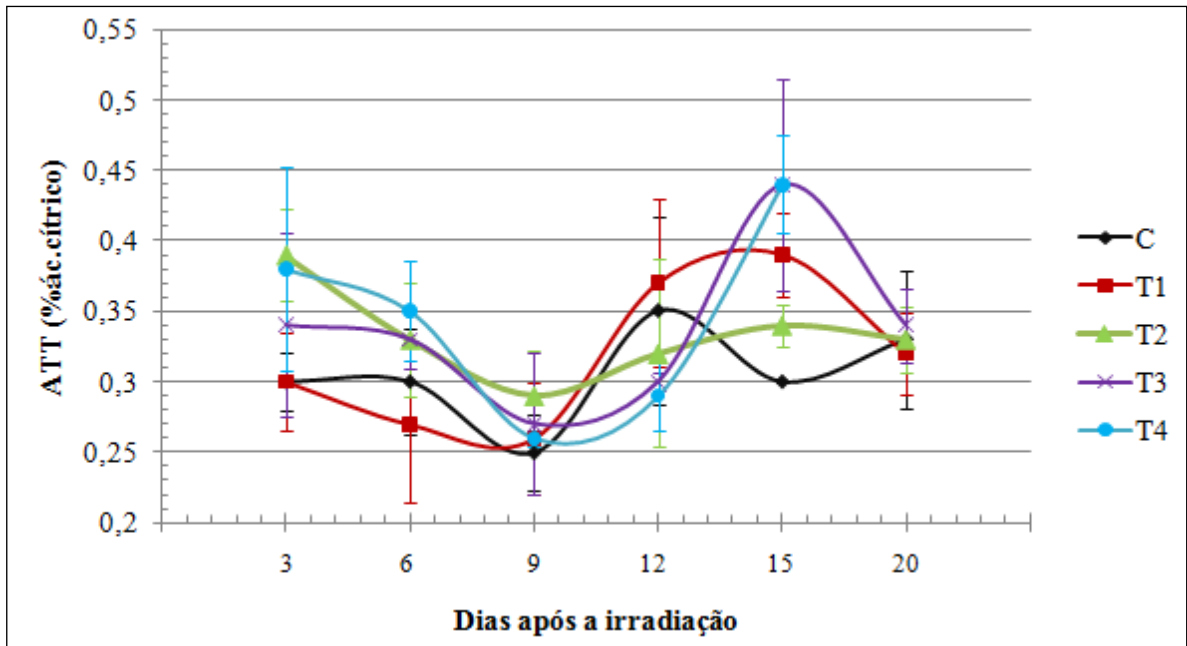


FIGURA 23 – Valores médios de ATT para frutos de tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

De acordo com Chitarra & Chitarra (1990), os ácidos orgânicos encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres e glicosídeos. Em frutas, os ácidos orgânicos não só contribuem para a acidez como também para o aroma característico.

Tomates cv. Diva, investigados por Gómez & Camelo (2002), armazenados em atmosfera controlada, registraram uma variação de 0.35% a 0.46% de acidez titulável. Lisiewska & Kmiecik (2000) apresentaram teores médios de 0.35% de ácido cítrico. Ao passo que Resende et al. (1997) encontraram 0.33% a 0.41% de acidez titulável em tomate de mesa do grupo híbrido F1.

Estes dados estão próximos aos resultados obtidos neste trabalho em que a acidez variou de 0.25% a 0.41%. De acordo com Cecchi (1999) frutas de baixa acidez, variam de 0.2% a 0.3 %, e frutas de alta acidez em torno de 6%, como no limão.

Notadamente, Castricini et al. (2002) observaram que tomates submetidos ao processo de radiação apresentaram valores constantes durante a condução do experimento, apresentando a amostra controle a maior porcentagem de ácido cítrico, diferentemente dos resultados obtidos neste trabalho, em que os tomates irradiados apresentaram um maior teor. Sendo assim, ao término do período de vinte dias, não houve diferença estatística para a acidez titulável para nenhum dos tratamentos aplicados ( $p > 0.05$ ).

### 5.1.7. Avaliação da massa

Foram avaliados 50 frutos de tomate a cada três dias para analisar a perda de massa fresca.

O tomate apresenta elevado conteúdo de água, estando sujeito às variações de temperatura e à umidade relativa do ambiente onde se encontra. A perda de água ocasiona perda de massa e altera a aparência do fruto (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Contudo, devido ao fato dos frutos estarem armazenados sob refrigeração na temperatura ideal para sua fisiologia, não houve uma perda de massa significativa estatisticamente ( $p > 0.05$ ) para nenhum dos tratamentos (FIG. 24).

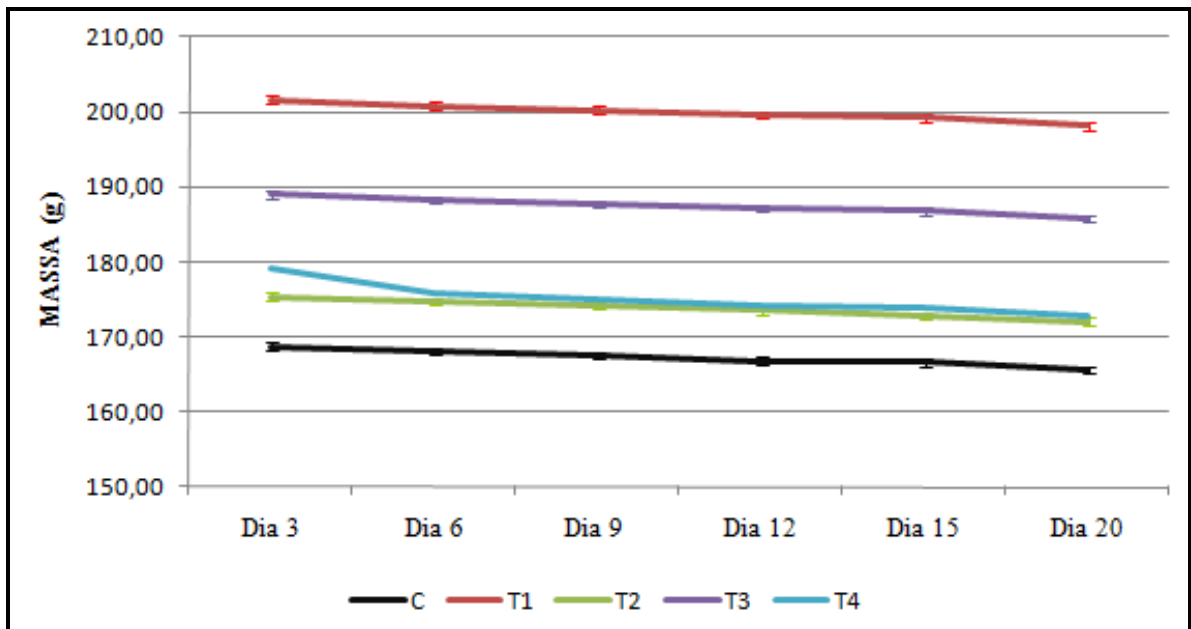


FIGURA 24 – Valores médios da massa para frutos de tomates submetidos a diferentes doses de radiação: Controle (C); T1 (0.25kGy), T2 (0.5 kGy), T3 (1.0 kGy) e T4 (2.0 kGy).

A perda de massa fresca decorrente dos processos transpiratórios e respiratórios pode levar ao murchamento e a perda da qualidade dos frutos (KLUGE & MINAMI, 1997).

O percentual de perda de massa de tomate cv. Débora foi medido por Vieites (1998) para investigar o efeito da embalagem de polietileno e diferentes tipos de ceras na conservação pós-colheita do tomate. O autor verificou uma perda de massa de 8.36% no período de 21 dias de armazenagem, em temperatura ambiente.

No trabalho de Bhowmik & Pan (1992), a perda de água nos tomates foi associada com o encolhimento da pele, amolecimento, aparência menos atrativa dos frutos devido ao enrugamento da superfície que levou a perda da cor brilhante.

Entretanto devido ao armazenamento na temperatura ideal à sua fisiologia, os tomates não apresentaram alteração de massa fresca ( $p>0.05$ ). O mesmo foi verificado por Castricini et al. (2004). Os autores não obtiveram diferença entre as amostras controle e irradiadas de tomate, que também ficaram mantidas em câmara fria a 12°C.

## 5.2 Análises de carotenóides

### 5.2.1. Tomates *in natura* e molho de tomate

Para realizar a quantificação dos carotenóides fez-se necessária a identificação e a separação da fração de licopeno (FIG. 25).

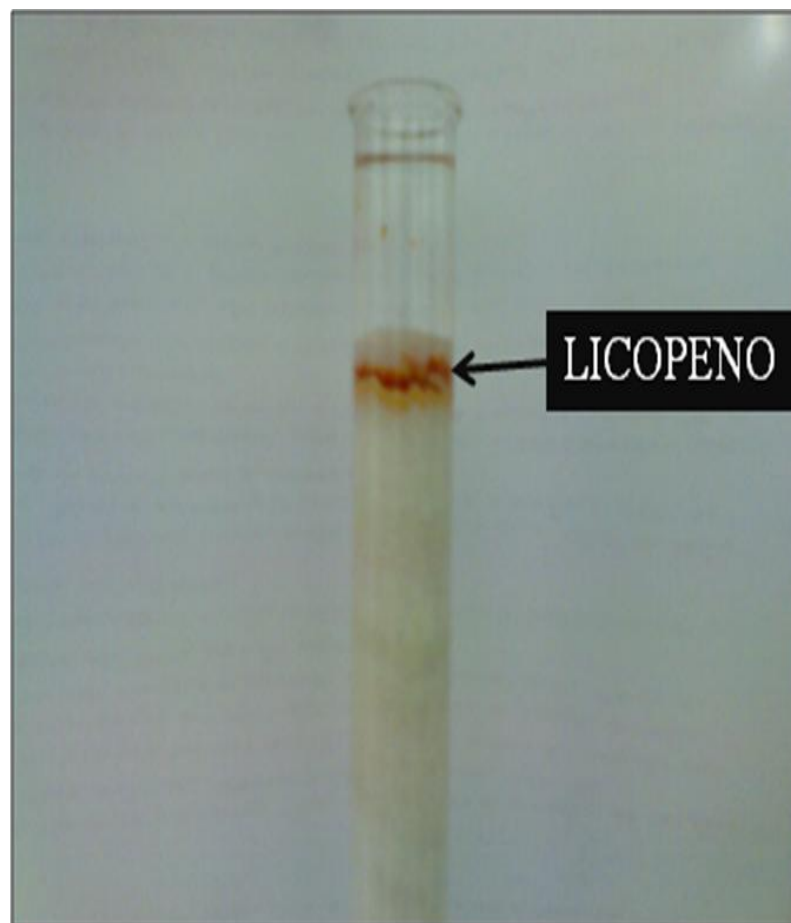


FIGURA 25 – Separação da fração de licopeno do tomate.

Sendo assim, foram estabelecidos os três picos de absorção máxima para o solvente utilizado como fase móvel: éter de petróleo (TAB.17).

TABELA 17 – Característica do licopeno em tomate, para absorção em éter de petróleo.

Identificação	Absorção em éter de petróleo (nm)		
Licopeno	444	470	502

Desta forma, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro, adotando-se o maior valor encontrado na varredura (FIG. 26).

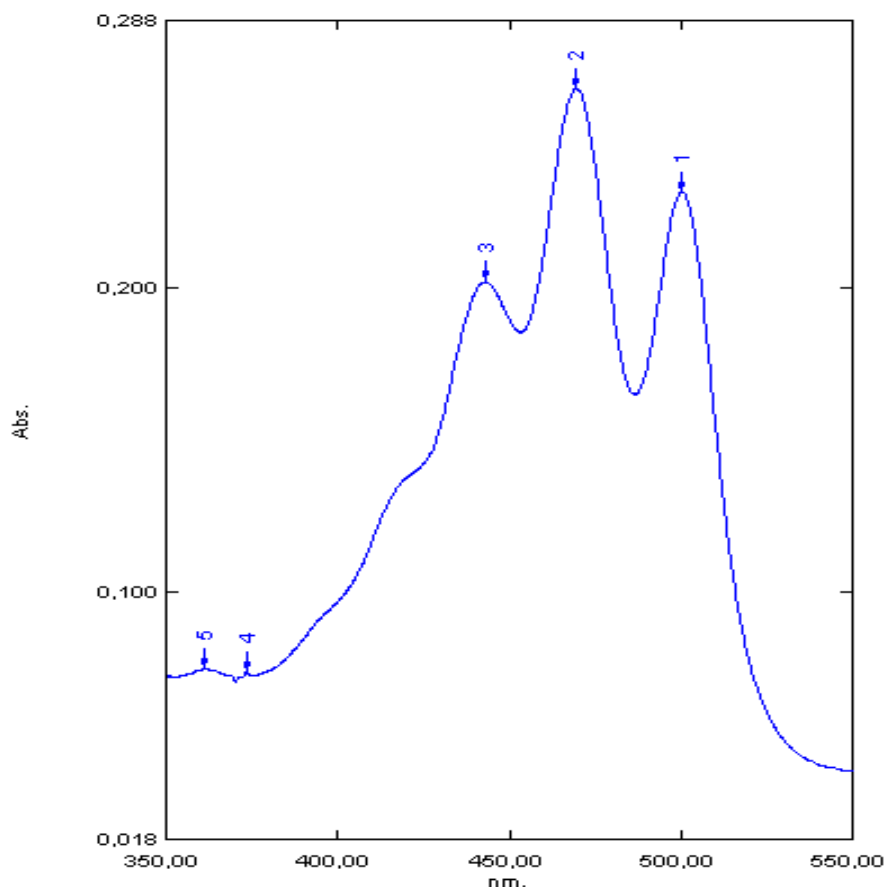


FIGURA 26 – Espectro de absorção do licopeno em tomates in natura.

Para tanto, foram obtidos os resultados da quantificação em tomates *in natura* (TAB. 18).

TABELA 18 – Resultados da cromatografia por coluna aberta para tomates.

<b>Tratamento</b>	<b>Teor de licopeno (<math>\mu\text{g}</math> licopeno/g tomate)*</b>
<b>C</b>	$34.56 \pm 3.84^a$
<b>T1</b>	$42.84 \pm 2.23^a$
<b>T2</b>	$35.79 \pm 2.17^a$
<b>T3</b>	$19.81 \pm 1.18^b$
<b>T4</b>	$18.13 \pm 0.27^b$

\* Valores médios  $\pm$  desvio padrão de 3 análises. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Os resultados foram comparados por One-way-ANOVA, seguido de Tukey ou pelo seu equivalente não-paramétrico Kruskal-Wallis, quando apropriado.

De acordo com estes resultados, os grupos do T3 e do T4 diferiram estatisticamente em relação às amostras controle e aos tratamentos 1 e 2 ( $p < 0.05$ ). Ao passo que estas três últimas não diferiram entre si ( $p > 0.05$ ).

Estes resultados sugerem que doses maiores podem vir a interferir nos carotenos do tomate, diminuindo sua concentração e biodisponibilidade (FIG.27).



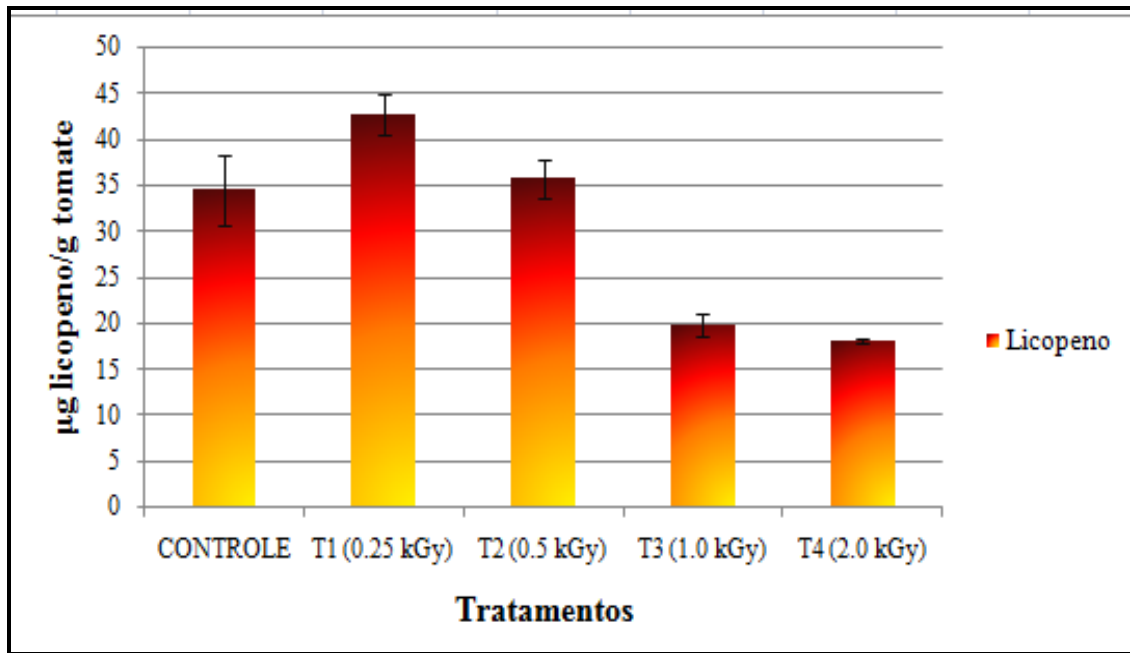


FIGURA 27 – Valores médios  $\pm$  desvio padrão de 3 análises para quantificação do teor de  $\mu\text{g}$  licopeno/g tomate.

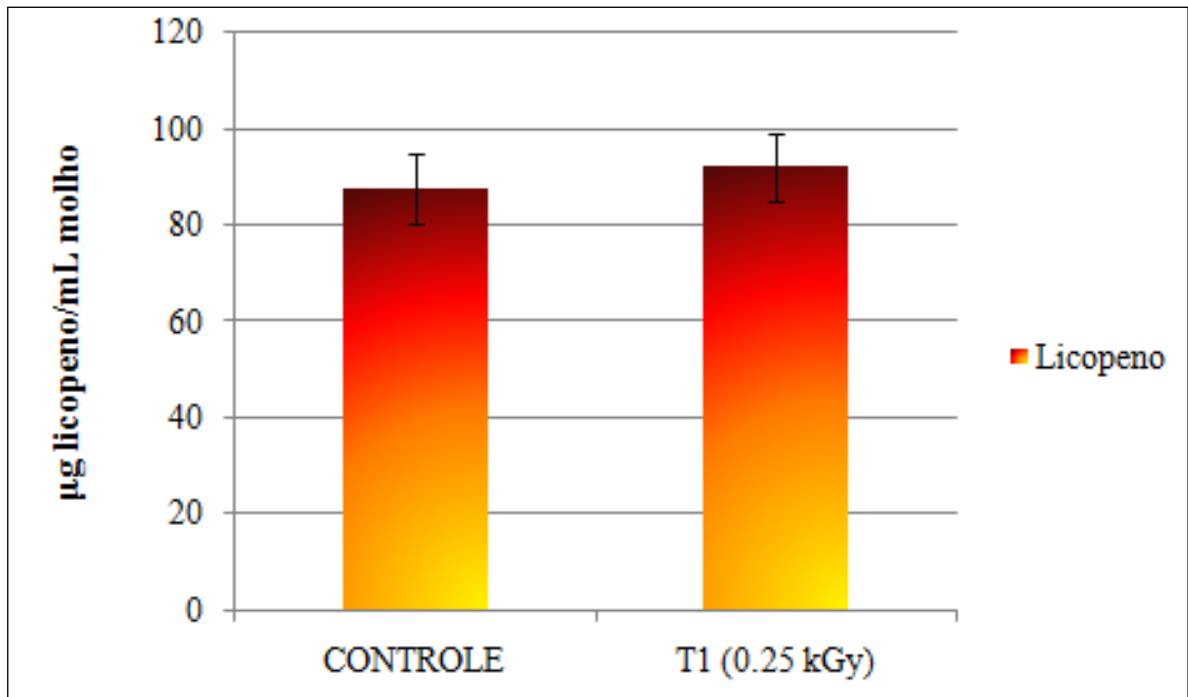
Em função destes resultados, foram selecionados os tomates tratados por 0.25 kGy e os tomates do controle para a quantificação dos molhos. Os dados obtidos foram expressos na TAB.19.

TABELA 19 – Resultados da cromatografia por coluna aberta para molho.

Treatmento	Teor de licopeno ( $\mu\text{g}$ licopeno/g tomate)*
<b>C</b>	$87.65 \pm 7.45^a$
<b>T1</b>	$92.05 \pm 7.04^a$

\* Valores médios  $\pm$  desvio padrão de 3 análises. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Os resultados foram comparados por One-way-ANOVA, seguido de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Apesar do resultado da cromatografia para o molho indicar superioridade ao controle, não houve diferença estatística entre as amostras ( $p > 0.05$ ) (FIG. 28).



Apesar da diferença apresentada não ser estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ), ao serem testados alguns outros testes como o Duncan, o resultado indicou diferença marginalmente significativa ao nível de  $p < 0.10$ .

Um dos objetivos deste trabalho foi verificar se haveria ou não alteração no teor total de licopeno, que poderia ser justificado pela isomeria cis/trans, sendo que esta última não foi avaliada no presente estudo.

Os resultados indicam que baixas doses de radiação podem vir a favorecer a biodisponibilidade deste carotenóide. Entretanto, poucos são os trabalhos que avaliam a influência da radiação no teor de licopeno.

Huber et al. ao analisarem molho de tomate enlatado por cromatografia líquida de alta eficiência obtiveram valores médios de  $84 \pm 12$  µg licopeno/mL de molho. Tais dados corroboram os resultados obtidos por cromatografia por coluna aberta no presente estudo:  $87.65 \pm 7.45$  µg licopeno/mL de molho preparado a partir de tomate não irradiado e  $92.05 \pm 7.04$  µg licopeno/mL do molho com tomates irradiados na dose de 0.25 kGy.

A análise em coluna aberta consiste em quantificações totais de licopeno, que se ajustam perfeitamente aos fins a que este trabalho se propôs.

Para analisar isoladamente a isomeria cis/trans, deve-se empregar a cromatografia líquida de alta eficiência. Entretanto, para quantificações totais de carotenóides, diversos autores comprovaram a equivalência entre os métodos CCA e CLAE , de acordo com o item 3.6.3.2.

Em relação às quantificações dos tomates in natura, as doses de 1.0 kGy e 2.0 kGy demonstraram menores índices de licopeno. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2007a) na quantificação de carotenóides do buriti (*Mauritia Flexuosa* L.). Os frutos foram irradiados nas doses de 0.5 e 1.0 kGy e os autores verificaram uma redução no conteúdo dos carotenos para a segunda dose, sugerindo que a primeira seria mais apropriada.

Sendo assim, os resultados indicam que menores doses de radiação ionizante, particularmente as de 0.25 kGy e 0.5 kGy, podem ser eficazes para aumentar essa biodisponibilidade do licopeno.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho apontaram que baixas doses de radiação ionizante, particularmente, 0.25 kGy e 0.5 kGy, se mostraram eficazes no atraso da senescência de tomates *in natura*, bem como na rigidez da casca (firmeza);

Não houve perda de massa significativa ( $p < 0.05$ ) para nenhum dos tratamentos, incluindo o controle, provavelmente por estarem armazenados nas condições ideais para sua fisiologia (12°C);

Doses de 0.25, 0.5 e 1.0 kGy apresentaram efetividade para manutenção do pH abaixo de 4.5, prevenindo a proliferação de microorganismos;

Ao passo que a aplicação de doses em torno de 2.0 kGy ocasionou reações químicas na estrutura do tomate, levando-o a amadurecer precocemente em função da degradação das substâncias pécticas. Além disso, doses de 1.0 e 2.0 kGy foram responsáveis por uma diminuição do conteúdo de licopeno;

As análises de sólidos solúveis e acidez (% de ácido cítrico) sofreram maior influência das suas próprias características intrínsecas, do que pelo tratamento ou dia de análise;

A realização de um molho preparado a partir de tomates irradiados a 0.25 kGy, não apresentou diferença significativa ( $p > 0.05$ ) quando comparado ao controle. Entretanto, não degradou o licopeno, como as doses de 1.0 e 2.0 kGy.

Desta forma pode-se concluir que baixas doses são eficazes para manutenção do pH, firmeza, retardo da senescência, massa e ainda, além de não degradarem o principal composto bioativo do tomate: o licopeno, sugerem uma maior biodisponibilidade deste, em função da aplicação da radiação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEWUSI. S.R.A.; BRADBURY. J.H. Carotenoids in Cassava: Comparison of Open-Column and HPLC Methods of Analysis. *J. Sci. Food Agric.* v.62. p.375-383. 1993.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA ; **Resolução RDCnº21**. de 26 de janeiro de 2001. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21\\_01rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm)>. Acesso em: 10 nov. 2008.
- AHUJA. K; PITTAWAY. J; BALL. M. Effects of olive oil and tomato lycopene combination on serum lycopene. lipid profile. and lipid oxidation. *Nutrition* .v. 22. Issue 3. pages 259-265. mar. 2006.
- AJAVI. A.A; OLASEHINDE. I. G. Studies on the pH and protein content of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits deteriorated by *Aspergillus niger*. *Sci. Res. and Essay*. v.4 n.3. pp. 185-187 (2009).
- ALMEIDA. L.B.; PENTEADO. M. de V.C. Carotenóides com atividade pró-vitamínica A de cenouras (*Daucus carota L*) comercializadas em São Paulo. Brazil. *Rev. Farm. Bioquím.* Univ. S. Paulo. 23(2):133-141. jul./dez.. 1987.
- ALMEIDA-MURADIAN, L.B.; PENTEADO, M.D.C. Vitamina A. In: PENTEADO, M.D.V.C. *Vitaminas: Aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos*. São Paulo: Manole, 2003. cap. 2, p.55-72.
- ALMEIDA-MURADIAN. L.B.; RIOS. M.D.G.; SASAKI. R. Determination of provitamin A of green leafy vegetables by high performance liquid chromatography and open column chromatography. *Boll. Chim. Farm.* v.137. n.7. p.290-294. 1998.
- AL-SHAIBANI, A. M. H.; GREIG, J. K. Effects of stage of maturity, storage and cultivar on some quality attributes of tomatoes. *J. Am. Society Hort. Science*, Alexandria, v. 104, n. 6, p. 880-882, 1979.
- AMBROSIO, C.L.B.; CAMPOS, F.A.C.S.; FARO, Z.P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Rev. de Nutrição*, v.19, n.2, p.233-243, 2006.
- ANDRADE. A.T.L. *Processamento de molho de tomate: da matéria prima ao produto acabado*. p.102.Goiás. 2004.
- ANESE, M. et al. Effect of equivalent thermal treatments on the color and the antioxidant activity of tomato purees. *J. Food Sci.*, v.67, n.9, p.3442-3446, 2002.
- ARAB, L.; STECK, S. Lycopene and cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, v.71, n6, p.1691-5, 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16<sup>a</sup> ed. Arlington. v.2 1995.
- AZEVEDO, E. *Alimentos Orgânicos - ampliando os conceitos de Saúde Humana, Ambiental e Social*. Florianópolis: Insular, 2003. 200p.

- BALCEWICZ, L. C. Saída Natural. *Rev. CREA-PARANÁ*, Curitiba, n. 4, p.28, mar./abr. 1999.
- BOHM, F.; TINKLER, J.H.; TRUSCOTT, T.G. Carotenoids protect against cell membrane damage by the nitrogen dioxide radical. *Nat. Med.* v. 1, p. 98-99, 1995.
- BORGUINI, R. G.; OETTERER, M.; SILVA, M. V. *Qualidade nutricional de hortaliças orgânicas*. Boletim da SBCTA. Campinas. v. 37. n. 1. p. 28-35. jan./jun. 2003.
- BORGUINI, R.G.; SILVA, M.V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. *Rev. Alim. Nutr.*, Araraquara v.16, n.4, p.355-361, out./dez., 2005.
- BHOWMIK, S. R. ; PAN J.C. Shelf life of mature green tomatoes stored in controlled atmosphere and high humidity. *J. of Food Sci.*, v. 57, n.4, 1992.
- BRANCO C. M.; FRANÇA. F. H.; MEDEIROS. M. A.; LEAL. J. G. Uso de inseticidas para controle da traça-do-tomateiro e traça-das-crucíferas: um estudo de caso. *Hort. Bras.* Brasília. v. 19. n. 1. p. 60-63. mar. 2001.
- BRITTON, G.; LIAANEN – JENSEN, S.; PFANDER, H. Carotenoids today and challenges for the future. *Carotenoids: isolation and analysis*. Basel, Boston, Berlin: Birkhauser, 1995. cap.2, p. 13-26.
- BROISLER, P.O.; CRUZ, J.N.; SABATO, S.F. Sensorial evaluation of irradiated mangoes. *Intern. Nuclear Atlan. Conf.* Santos-SP, Brasil, set-out, 2007.
- CALDAS, E.D.; SOUZA L. C. K. Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de pesticidas na dieta brasileira. *Rev. de Saúde Pub.*, v.34 n.5, p.529-37, 2000.
- CAMARGO, L.S. *As Hortaliças e seu Cultivo*. 3ª edição Campinas: Fundação Cargill, n. 6, 253 p., 1992.
- CASTRICINI, A.; MEDEIROS, S.F.; CONEGLIAN, R.C.C.; VITAL, H. de C. Uso da Radiação Gama na conservação pós colheita do tomate de mesa. *Rev. Univ. Rural. Sér. Ciên. da Vida*. v.22. n. 2. p. 223-229, 2002.
- CASTRICINI, A.; MEDEIROS, S.F.; CONEGLIAN, R.C.C.; VITAL, H.C. Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa (*Lycopersicum esculentum* Mill) em estágio maduro. *Rev. Univ. Rural.*, v. 24, n. 1, jan.- jun., p. 85-91, 2004.
- CECCHI, H. M. *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Campinas: ed. 1. Unicamp, 1999. 213 p.
- CIA, P.; BENATO, E.A.; ANJOS, V.D.A.;VIEITES, R.L. Efeito da irradiação na conservação de uva 'Itália'. *Rev. Bras. de Frut.*, Jaboticabal, v.22, n. esp.p. 62-67, 2000.
- CLINTON, S.K.; EMENHISER, C.; SCHWARTZ, S.J.; BOSTIWICK, D.G., WILLIAMS, A.W.; ERDMAN, J.W.J. Cis-trans lycopene isomers, carotenoids and retinol in the human prostate. *Cancer Epidemiol.* 1996; 5:823-33.

- CRAFT, N.E.; SANDER, L.C.; PIERSON, H.F. Separation and relative distribution of all-trans B-carotene and its cis isomers in B-carotene preparations. *J. Micronutr. Anal.*, v.8, p. 209-221, 1989.
- CRUZ, J.N.; CARUSO, M.W.; SABATO, S.F. Comparison of quarantine treatments on skin and pulp color of mangoes. *Intern. Nuclear Atlan. Conf.* RJ- Brasil, set-out, 2009.
- DEL MASTRO, N.L., Development of Food Irradiation in Brazil. *Progress in Nuclear Energy*, v. 35, n° 3-4, p. 229-248,1999.
- DJURIC. Z.; POWELL. L.C. Antioxidant capacity of lycopene-containing foods. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2001; 52:143-9.
- ERDMAN J.R.; J.W. Variable bioavailability of carotenoids from vegetables. *Am. J. Clin. Nutr.*, v.70, n.2, p.179-80, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *A cultura do tomateiro (para a mesa)*. Brasília: Embrapa - SPI. 1993. 92p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistemas de Produção: Cultivo de tomate para industrialização*. Versão eletrônica. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2e/d/importancia.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2e/d/importancia.htm)> Acesso: 20 set. 2009.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. *Síntese anual da Agricultura* 2007/2008. 29 ed., 2008.
- FACHIN. D. *Temperature and pressure inactivation of tomato pectinases: a kinetic study*. 2003. 133 p. Proefschrift (Doctoraats in de Toegepaste Biologische Wetenschappen door). Katholieke Universiteit Leuven.
- FENNEMA, O.R. *Food Chem.*. 3 ed.; Marcel Dekker, Inc.; New York, 1996.
- FERREIRA. S.M.R. *Características de qualidade de tomate de mesa (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba*. 249 p. Curitiba. 2004.
- FERREIRA, M. D.; FRANCO, ANDRE, T.O.; NOGUEIRA, M. F. M.; ALMEIDA, R.V. C.; TAVARES, M. Avaliação da Etapa da Colheita em Tomates de Mesa cv. Débora. *Braz. J. of Food Techn.*, v.7, n.2, p.173-178, jul/dez.,2004.
- FETT, C. *Ciência da suplementação alimentar*. Editora Sprint, Rio de Janeiro, 2000. p.54-57, 71-75.
- FONTES. P. C. R.; SILVA. D. J. H. *Produção de tomate de mesa*. Viçosa: Aprenda fácil. 2002. 197p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Codex alimentarius commission. *Proposed draft codex standard for tomatoes*. Joint FAO/OMS food standards programme. 2004. Disponível em: <<http://www.codexalimentarius.net/c10/ff02-01e.htm>> Acesso em: 06 jul. 2007. 3 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS . *Tomato*. Disponível em:< [http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_tomato.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_tomato.html)> (2009).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Food and Agricultural Commodities Production*. 2008. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso em 20 out. 2009.

FRANCO & LANDGRAF. B.D.G.M.; LANDGRAF.M. *Microbiologia de alimentos*; São Paulo; Editora Atheneu. 1996.

GAGNON, M.; LACROIX, M.; PRINGSULAKA, V.; JOBIN, M.; LATREILLE, B.; NOUCHPRAMOO, K.; PRACHASITTHISAK, Y.; CHARON, S.; ADULYATHAM, P.; LETTRE, J. GRAD, B.; *Effect of gamma irradiation with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics on thai mangoes*, Canadian Irradiation Center, Canada, 1993.

GARCIA-ALONSO, F.J.; BRAVO, S.; CASAS, J.; PEREZ-CONESA, D.; JACOB, K.; PERIAGO, M.J. Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 6815–6822.

GARTNER, C.; STAHL, W., SIES, H. Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *Am. J. Clin. Nutr.* 1997; 66(1):116-22

GIORDANO. L.B. de; RIBEIRO. C.S.C.. Origem. Botânica e Composição Química do fruto. In: *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa / Comunicação para Transferência de Tecnologia / (Embrapa Hortaliças). p.12-17. 2000.

GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *J. Natl. Cancer Inst.* 1999; 91(4):317-31.

GIOVANNUCCI, P. Tomato versus cancer. *J. Natl. Cancer Inst.*. Estados Unidos. v. 226, n. 2, p. 45-48, 2000.

GÓMEZ, P. A. ; CAMELO, A. F. L. Calidad postcosecha de tomates almacenados em armósferas controladas. *Hort. Bras.*, Brasília, v. 20, n. 1, p. 38-43, mar. 2002.

GOULD, W.A. *Tomato Production, Processing & Technology*; 3ed.; CTI Pub. Inc.; Baltimore, 1992.

GROSS, J. *Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. p. 75-254.

HEBER, D. Colorful câncer prevention. *Am. J. Clin Nutr.*, v. 72, n.4, p. 901-2, 2000.



HUBER, L.S., KOBORI, C.N., KIMURA, M., RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Determination of the principal carotenoids of Brazilian tomato products by HPLC. *Braz. Meeting on Chem. of Foods and Bev.* São Carlos, Brazil, 2004.

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. Collection of ICGFI documents on codes of good irradiation practice for treatment of various food commodities. *Training manual on operation of food irradiation facilities.* nº 14. Vienna. 1992.

INTERNACIONAL DATABASE ON INSECT DISINFESTATION AND STERILIZATION. *Database: tomato.* 2009. Disponível em: <<http://www-ididas.iaea.org/IDIDAS/default.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

KIMURA. M.; RODRIGUEZ-AMAYA. D.B. *Estabelecimento das condições cromatográficas para análise de carotenóides em alimentos por CLAE: uma ciência ou uma arte?* Bol. SBCTA. v.37. n.2. p.74-81. 2003.

KLUGE. R. A. ; MINAMI. K. Efeito de esters de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara. *Scientia Agrícola.* Piracicaba. v. 54. n. 1-2. p. 39-44. jan./ago. 1997.

KRINSKY, N.I. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition.* 2001; 17:815-7.

LISIEWSKA, Z. ; KMIECIK, W. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. *Food Chem.*, v. 70, n. p. 167-173, 2000.

LIU, L.H.; ZABARAS, D.; BENNETT, L.E.; AGUAS, P.; WOONTON, B.W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.* 115 (2009) 495–500.

LOURENÇÃO, A. L.; NAGAI, H.; SIQUIERA, W. J.; MELO, A. M. T.; USBERTI FILHO; J. A.; FONTE, L. C.; MELO, P. C. T. Resistência de linhagens avançadas de tomateiro a toposvírus. *Bragantia.* Campinas, v. 58, n. 2, p. 293-303, 1999.

LOURENÇÃO, A. L.; NAGAI, H.; SIQUIERA, W. J.; USBERTI FILHO, J. A.; MELO, A. M. T. Seleção de tomateiros resistentes a toposvírus. *Bragantia.* Campinas, v. 56, n. 1, p. 21-31, 1997.

MICHAUD, D.S.; FESKANICH, D.; RIMM, E.B.; COLDITZ, G.A.; SPEIZER, F.E.; MINAMI. K. ; HAAG. H. P. *O Tomateiro.* 2. ed. Campinas: Fundação Cargill. 1989. 397 p.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, M.E.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P.S.; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. *Alim. Nutr.*, Araraquara v.19, n.1, p. 25-31, jan./mar. 2008.

MOREIRA. G.C.; VIEITES. R.L.; CAMPOS. A. J. de; JÚNIOR. E.D. Efeito da radiação gama na sanitização do tomate minimamente processado à vácuo. *Rev. Hig. Alim.* v.19; nº 132. 2005.

MORETTI, C. L.; SARGENT, S. A.; HUBER, D. J.; PUSCHMANN, R. Armazenamento sob atmosfera controlada de tomates com injúrias internas de impacto. *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 465-469, set. 2002.

MOURA, L.M.; FINGER, F.L.; MIZOBUTSI, G.P.; GALVÃO, H.L. Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate ‘santa clara’ e do mutante ‘firme’. *Hortic. Bras.* v.23 no.1 Brasília Jan./Mar. 2005.

NASCIMENTO, P. *Avaliação de retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata doce*. São José do Rio Preto, 2006. 67p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista.

NIIZU, P.Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. New data on the carotenoid composition of raw salad vegetables. *J. Food Comp. and Anal.* **18**, 739–749, 2005.

NYALALA, S. P. O.; WAINWRIGHT, H. The self life of tomato cultivars at different storage temperatures. *Trop. Science*, v. 38, p. 151-154, 1998.

OFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION (2003). *EU-approved list of food which can be irradiated*. 11-3-2003. C 56/5.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados. Genebra, 1995.

PAPAS, A. M. Diet and antioxidant status. *Food Chem. Toxicol.*, v.37, p.999-1007, 1999.

PAZINATO, B. C. ; GALHARDO, R. C. *Processamento artesanal do tomate*. 2ª impressão. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 30 p., 1997.

PEDRO, A.M.K. *Determinação simultânea e não destrutiva de sólidos totais e solúveis, licopeno e beta-caroteno em produtos de tomate por espectroscopia no infravermelho próximo utilizando calibração multivariada*. 2004. Tese (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

PENTEADO, M. V. C. *Vitaminas: aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos*. v.822. Editora Manole; São Paulo. 2003.

PORCU, O.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Variation in the carotenoid composition of acerola and its processed products. *J. of the Sci. of Food and Agric.* v.86. p.1916-1920. 2006.

PORRETA, S.; POLI, G.; PALMIERE, L. The Effect of PME on Tomato Structure During Ripening and the Use of Calcium Salts During tomato Processing. *Sci. Alim.*; 1994; 46 ;100-198.

PRAKASH, A.; MANLEY, J.; COSTA, S.; CAPORASO, F.; FOLEY, D. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. *Rad. Physics and Chemistry*. Volume 63, Issues 3-6, March 2002, Pages 387-390.

- RAO, A.V.; AGARWAL, S. Role of antioxidant lycopene in câncer and heart disease. *J. Am. Coll. Nutr.* 2000; 19(5):563-9.
- RAUPP, D.S.; GARDINO, J.R.; SCHEBESKI, L.S.; AMADEU, C.A.; BORSATO, A.V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. *Acta Amaz.* v.39 n.2 Manaus, 2009.
- RESENDE, J. M.; CHITARRA, M. I. F.; MALUF, W, R.; CHITARRA, A, B. Qualidade pós-colheita em genótipos de tomate do grupo multilocular. *Hort. Bras.*, Brasília, v. 15, n. 2, p. 92-98, nov. 1997.
- RIZZOLO, A. E; POLESELLO, S. Chromatographic determination of vitamins in foods. *J. Chromatogr.*, v.624, n.1/2, p.103-152, 1992.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Critical review of provitamin A. Determination in plant foods. *J. Micronutrient Anal.* V.5, p.191-225, 1989.
- RODRIGUEZ-AMAYA D.B. Latin american food sources of carotenoids. *Arch. Latinoam. Nutr.* .1999; 49(3 Suppl 1):74-84.
- RODRIGUEZ-AMAYA. D.B. *A Guide to Carotenoid Analysis in Foods.* 71p. International Life Sciences Institute. 2001.
- RODRIGUEZ-AMAYA. D. B.; KIMURA. M. *Harvest Plus Hand Book for Carotenoid Analysis.* Washington. USA. 2004.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M.; GODOY, H.T. AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition *J. Food Comp. and Anal.* **21** (2008) 445– 463.
- SÁ, M.C.; RODRIGUEZ – AMAYA, D.B. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chem.*, v.83, p. 595-6000, 2003.
- SANTIN, M. *La irradiación de los alimentos.* Ed. Acríbia: Zagarosa (2000).
- SILVA, J.M.; COELHO, M.J.; LIMA, K.S.C.; LIMA, A.L.S.; GODOY, R.L.O.; PACHECO, S.; FERREIRA, R.S. Evaluation of carotenoid contents in irradiated buriti (*mauritia flexuosa* L.). *Intern. Nuclear Atlan. Conf.* Santos-SP, Brasil, set-out, 2007a.
- SILVA, J.M.; CORREIA, L.C.S.A.; VILLAR, H.P. MACIEL, M.I.S. Study of visual, sensorial and physicochemical characteristics of tomy atkins mangoes submitted to ionizing radiation as a method of post-harvest conservation. *Intern. Nuclear Atlan. Conf.* Santos-SP, Brasil, set-out, 2007b.
- SILVA, S.R.; MERCADANTE, A.Z. Composição de carotenóides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) in natura. *Ciênc. Tecn. Alimentos*, v.22, n.3, p.254-258, 2002.
- SOUZA, W.A.; VILAS BOAS, O.M.G.C. A deficiência de vitamina A no Brasil: um panorama. *Rev. Panam. de Salud Pub.*, v.12, n.3, p.173-179, 2002.

SPEISKY, H.C.; JIMÉNEZ, I.T. Radicales libres y antioxidantes en la prevención de enfermedades III: evidencias clínico epidemiológicas de los riesgos y beneficios asociados al consumo de antioxidantes en la prevención de enfermedades cardiovasculares. *Rev. Chil. Nutr.*, v.27, n.3, p.314-25, 2000.

SU, K.; ROWLEY, K.G.; BALAZS, D.N.H. Carotenoids: separation methods applicable to biological samples. *J. of Chrom. B.*, v.781, p.393-418, 2002.

TAVARES, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products. *Lebensm-Wiss. u.- Technol.*, v.27, n.3, p.219-224, 1994.

TILTON, E.W.; BURDITT, A.K. *Preservation of food by ionizing radiation*. v.3. CRC Press Inc, Boca Raton, Florida, 1983

TODORIKI, S.; BARI, L.; KITTA, K.; OHBA, M.; ITO, Y.; TSUJIMOTO, Y.; KANAMORI, N.; YANO, E.; MORIYAMA, T.; KAWAMURA, Y.; KAWAMOTO, S. Effect of gamma-irradiation on the survival of *Listeria monocytogenes* and allergenicity of cherry tomatoes. *Rad. Phys. and Chem.* v.78, Issues 7-8, July-August 2009, Pages 619-621.

VIEITES. R.L. *Conservação pós-colheita do tomate através do uso da radiação gama, cera e saco de polietileno, armazenados em condições de refrigeração e ambiente*. Botucatu: UNESP. 1998.131p. (Tese Livre-Docência).

VILAS BOAS. E. V. B.; CHITARRA. A. B.; MALUF. W. R.; CHITARRA. M. I. F. Modificações textuais de tomates heterozigotos no loco *Alcobaça*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília. v. 35. n. 7. p.1447-1453. 2000.

WILLCOX, J.K.; CATIGNANI, G.L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2003; 43(1):1-18

WILLETT, W.C.; GIOVANNUCCI, E. Intake of specific carotenoids and risk of lung cancer in 2 prospective US cohorts. *Am. J. Clin. Nutr.*, v. 72. N.4, p. 990-7, 2000.

WILBERG, V.C. E RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Quantificação de B-caroteno e licopeno em tomate e em alguns dos seus produtos por cromatografia líquida de alta eficiência. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v.13, n.2, p.132-141, jul./dez., 1993.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy*. WHO Technical Report Series, v.890, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, Geneva, Suíça, 1999.

YE, S.Y.; QIU, Y.X.; SONG, X.L.; LUO, S.C. Optimization of process parameters for the inactivation of *Lactobacillus sporogenes* in tomato paste with ultrasound and <sup>60</sup>Co- $\gamma$  irradiation using response surface methodology. *Rad. Physics and Chemistry*, v. 78, Issue 3, March 2009, Pages 227-233.

YUYAMA, L.K.O.; MARINHO, H.A.; ALENCAR, F. H.; COZZOLINO, S.M.F. Vitamina A (Retinol) e carotenóides. In: COZZOLINO, S.M.F. *Biodisponibilidade de nutrientes*. São Paulo: Manole, 2007a. Cap.3, p.217-261.

YUYAMA, L.K.O.; YONEKURA, L.; AGUIAR, J.P.L.; RODRIGUES, M.L.C.F.; COZZOLINO, S.M.F. Zinco. In: COZZOLINO, S.M.F. *Biodisponibilidade de nutrientes*. São Paulo: Manole, 2007b. cap.27, p.549-574.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en La composición y calidad de frutos de tomate. *Agron. Trop.* v.46, n. 1, p. 61- 72, 1996.