

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**Aline de Holanda Rosanova**

**Análise comparativa de diferentes tratamentos para reduzir a  
deterioração de tomates**

**SÃO CARLOS – SP**

**2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**Aline de Holanda Rosanova**

**Análise comparativa de diferentes tratamentos para reduzir a  
deterioração de tomates**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo Ferreira**

**SÃO CARLOS – SP**

**2013**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

R788ac Rosanova, Aline de Holanda  
Análise comparativa de diferentes tratamentos para  
reduzir a deterioração de tomates / Aline de Holanda  
Rosanova. -- São Carlos : UFSCar, 2013.  
92 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2013.

1. Engenharia química. 2. Campos elétricos. 3. Atmosfera  
controlada. 4. Tomate. I. Título.

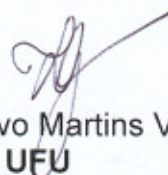
CDD: 660 (20<sup>a</sup>)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE  
**ALINE DE HOLANDA ROSANOVA** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SÃO CARLOS, EM 07 DE MARÇO DE 2013.

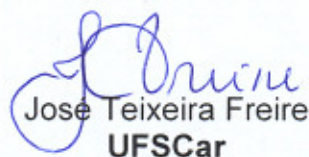
BANCA EXAMINADORA:



Maria do Carmo Ferreira  
**Orientador, UFSCar**



Luiz Gustavo Martins Vieira  
**UFU**



José Teixeira Freire  
**UFSCar**

Aos meus pais, Sueli e Arnaldo, as  
maiores inspirações da minha vida

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e por iluminar meu caminho em todos os momentos.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo, por abdicarem de tantas coisas para que eu pudesse concluir essa etapa da minha vida e pela ajuda que prestaram na realização deste trabalho. Eles são os meus maiores exemplos.

Ao meu irmão Alécio, pelo carinho, apoio e preocupação.

Ao vô Zé (*in memoriam*) por, de algum lugar, estar guiando meu caminho e me dando forças para atingir os meus objetivos.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo Ferreira pela orientação, amizade, incentivo e confiança.

Aos professores Dr. José Teixeira Freire, Dr. Fábio Bentes Freire e Dr. Dermeval José Mazzini Sartori pela amizade, ensinamentos e sugestões.

Ao técnico Edilson Milaré e aos demais professores da área de Sistemas Particulados pelas contribuições dadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Nibio José Mangerona pela construção do sistema experimental, pela amizade e pela disponibilidade em ajudar-me sempre que precisei.

Ao Dr. Alexandre de Castro Maciel pela ajuda com as adaptações do sistema experimental e ensinamentos sobre descarga corona.

Ao técnico Luis Roberto Contri Lopes pelos ensinamentos e ajuda na adaptação do sistema para a realização dos ensaios de medida de corrente.

À Batista Legumes pelo fornecimento dos tomates e, em especial, à Michele Batista pela atenção e contribuição prestada, e ao funcionário Rosalvo pela ajuda na seleção dos frutos.

Aos amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para que eu atingisse o meu objetivo.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro (Processo nº 131304/2011-9).

**MUITO OBRIGADA!!!**

"Viva como se fosse morrer amanhã.  
Aprenda como se fosse viver para sempre."

**Mahatma Gandhi**

## RESUMO

O tomate contém elevado teor de umidade, o que lhe confere uma alta atividade metabólica, que não cessa após a colheita e o caracteriza como um produto altamente perecível. Segundo a FAO, o Brasil é o maior produtor da América do Sul, e o oitavo produtor mundial de tomates. Todavia, apesar da significativa produção brasileira, cerca de 40% da produção é perdida no período pós-colheita devido à rápida deterioração nas etapas de transporte e armazenamento. Novas técnicas vêm sendo testadas visando aumentar o tempo de prateleira de hortaliças. Uma delas é o uso de campos elétricos de alta tensão para produzir uma atmosfera modificada, na qual, devido à ionização induzida por descarga corona, a deterioração é reduzida por meio de mecanismos como a redução da taxa respiratória, destruição de etileno e produção de ozônio. Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram construir um sistema experimental que permitisse a aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças e testar a aplicação deste sistema em tomates, avaliando-se sua eficácia a partir de análises de algumas características indicativas de qualidade, como perda de massa, variação da cor da epiderme, firmeza, acidez total titulável (ATT) e teor de sólidos solúveis (SST), avaliar o uso de tratamentos refrigerados na conservação de tomates e comparar a eficácia dos diferentes tratamentos no aumento do tempo de prateleira destes frutos. Observou-se uma melhoria em algumas características indicativas de qualidade avaliadas com o uso de tratamentos intermitentes em tomates cv. Andrea Victory com a aplicação de campos de -1,6 kV/cm seguido de armazenamento em câmara climatizada ou aplicação de -2,0 kV/cm seguido de armazenamento em condições ambientes, bem como com o uso de tratamentos contínuos em tomates cv. Paron (-1,9 kV/cm seguido de armazenamento em condições ambientes). As análises das demais propriedades estudadas não permitiram identificar uma influência dos tratamentos com campos elétricos na manutenção da qualidade dos frutos. O armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada a 15,0 °C e umidade relativa de 70% resultou em uma melhoria nas perdas de massa e firmeza dos frutos em comparação com os frutos de controle, enquanto o armazenamento em geladeira resultou em uma redução da variação da cor da

epiderme e da perda de massa dos frutos. Quando comparadas as técnicas de tratamento com campos elétricos e tratamentos refrigerados, não ficou evidenciada uma vantagem clara de uma perante a outra, sendo que ambas tiveram efeito positivo sobre ao menos uma propriedade investigada.

## ABSTRACT

Due to their high moisture content, tomatoes have a high metabolic activity that continues even after harvesting, making them a highly perishable vegetable. According to FAO, Brazil is the largest tomato producer in South America and the eighth largest producer in the world. Despite this significant production, rapid fruit deterioration causes a loss of about 40% of this production in post-harvesting operations such as transportation and storage. Recently, new techniques have been tested to increase the shelf life of vegetables, such as the use of high voltage electric fields to produce a modified atmosphere in which the ionization induced by corona discharge contributes to retarding deterioration by mechanisms such as the decreasing respiratory rates, destroying ethylene and producing ozone. Therefore, the objectives of this study were to set up, check and test equipment to carry out experiments to treat different types of fruit and vegetables using electric fields. In this work this system was used for tomatoes and its effectiveness was evaluated by analyzing some measurable quality properties such as loss of mass, changes in skin color, fruit firmness, total titratable acidity (ATT) and soluble solids content (SST). This method was compared to the use of refrigeration to extend the shelf life of this vegetable. An improvement of some measurable quality properties was observed after treating tomatoes cv. Andrea Victory intermittently by applying an electrical field of  $-1.6 \text{ kV/cm}$  followed by storage in climate chamber or using  $-2.0 \text{ kV/cm}$  followed by storage at room temperature, and also after using continuous treatments in tomatoes cv. Paron ( $-1.9 \text{ kV/cm}$ ) followed by storage at room temperature. The other measured properties did not indicate benefits of electrical field treatment for preserving the fruit quality. Storage of tomatoes cv. Paron at  $15.0 \text{ }^\circ\text{C}$  and relative humidity of 70% reduced the loss of mass and improved fruit firmness in comparison to the control group, while the storage in a domestic refrigerator reduced the loss of mass and improved the skin color of the vegetables. Concerning the treatment techniques electric fields and refrigeration, a clear advantage of one compared to the other was not identified, since both had a positive effect on at least one property investigated.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Tomate.....	15
2.1.1 Aspectos gerais.....	15
2.1.2 Características nutricionais.....	17
2.2 Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças .....	19
2.2.1 Respiração.....	19
2.2.2 Etileno.....	20
2.2.3 Ozônio .....	22
2.3 Atributos de qualidade das frutas.....	22
2.3.1 Firmeza da polpa.....	23
2.3.2 Acidez total titulável (ATT).....	23
2.3.3 Teor de sólidos solúveis (SST).....	24
2.3.4 Cor da epiderme .....	25
2.3.5 Perda de massa.....	26
2.4 Tratamentos refrigerados em frutas e hortaliças.....	27
2.5 Descarga corona.....	28
2.5.1 Características gerais.....	28
2.5.2 Potencial aplicado e a corrente.....	30
2.5.3 Aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças .....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
3.1 Equipamentos e sistemas de medida .....	41
3.2 Metodologia experimental .....	43
3.2.1 Determinação da perda de massa .....	44
3.2.2 Determinação da firmeza.....	44
3.2.3 Determinação da cor da epiderme.....	45
3.2.4 Determinação da acidez total titulável .....	47
3.2.5 Determinação do teor de sólidos solúveis .....	47
3.2.6 Determinação do teor de licopeno .....	47
3.3 Análises estatísticas.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	50

4.1	Tratamentos de tomates com campos elétricos.....	52
4.1.1	Etapa 1 .....	52
4.1.1.1	Armazenamento em câmara climatizada.....	53
4.1.1.2	Armazenamento em condições ambientes.....	57
4.1.1.3	Armazenamento em geladeira.....	60
4.1.2	Etapa 2 .....	64
4.1.2.1	Influência dos tratamentos nas características indicativas de qualidade e apodrecimento de tomates cv. Paron.....	65
4.1.2.2	Análises do planejamento experimental .....	71
4.2	Ensaio de armazenamento .....	75
4.2.1	Câmara climatizada .....	76
4.2.1.1	Dez frutos .....	76
4.2.1.2	Vinte frutos.....	78
4.2.2	Geladeira .....	80
4.3	Teor de licopeno .....	83
5	CONCLUSÕES.....	85
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões do fruto de tomate .....	16
Figura 2 - Densidade de carga na superfície de um eletrodo de ponta .....	28
Figura 3 - Representação da descarga corona na geometria ponta-placa.....	29
Figura 4 - Relação típica entre o potencial aplicado (V) e a corrente (I) .....	30
Figura 5 - Sistema experimental teórico para a aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças .....	33
Figura 6 - Variação da corrente corona do circuito para cátodos ponta e placa usados em diferentes voltagens.....	34
Figura 7 - Tratamentos realizados nos tomates cv. Andrea Victory .....	38
Figura 8 - Tratamentos realizados nos tomates cv. Paron .....	39
Figura 9 - Ensaio de armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada e geladeira.....	40
Figura 10 - Sistema experimental construído para aplicar campos elétricos em frutas e hortaliças .....	41
Figura 11 - Câmara de tratamento de frutos com campos elétricos .....	42
Figura 12 - Aplanador horizontal para medição de firmeza dos frutos .....	45
Figura 13 - Espectrofotômetro da marca Konica Minolta, modelo CM – 5 .....	45
Figura 14 – Representação dos eixos a* e b* .....	46
Figura 15 - Corrente calculada do sistema em função da tensão externa aplicada para maçã .....	50
Figura 16 - Corrente calculada do sistema em função da tensão externa aplicada para diferentes números de pontas do cátodo .....	52
Figura 17 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	53
Figura 18 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	54

Figura 19 - Tomates cv. Andrea Victory do tratamento 3 após 23 dias de estocagem em câmara climatizada (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	54
Figura 20 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	55
Figura 21 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	56
Figura 22 - Variação da cor média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa).....	57
Figura 23 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C) .....	57
Figura 24 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C) .....	58
Figura 25 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C).....	58
Figura 26 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C).....	59
Figura 27 - Variação da cor médias e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C).....	59
Figura 28 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C) .....	60
Figura 29 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C) .....	61
Figura 30 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C).....	61
Figura 31 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C).....	62
Figura 32 - Variação da cor média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C).....	62

Figura 33 - Variação da temperatura ambiente durante o dia para os tratamentos 1 a 4 .....	65
Figura 34 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4).....	66
Figura 35 - Firmeza de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4).....	67
Figura 36 - Tomates do tratamento 1 após 15 dias de estocagem .....	67
Figura 37 - Tomates do tratamento 2 após 15 dias de estocagem .....	67
Figura 38 - Tomates do tratamento 3 após 15 dias de estocagem .....	68
Figura 39 - Tomates do tratamento 4 após 15 dias de estocagem .....	68
Figura 40 - Variação da ATT de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4).....	69
Figura 41 - Variação do SST de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4).....	70
Figura 42 - Variação da cor de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4).....	70
Figura 43 - Superfície de resposta do SST em função da tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos.....	73
Figura 44 - Superfície de resposta do ATT em função da tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos.....	74
Figura 45 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	76
Figura 46 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	76
Figura 47 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	77
Figura 48 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	77
Figura 49 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	78

Figura 50 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	79
Figura 51 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	79
Figura 52 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada.....	80
Figura 53 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira.....	80
Figura 54 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira.....	81
Figura 55 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira.....	81
Figura 56 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira.....	82

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resultados da ANOVA para perda de massa .....	71
Tabela 2 - Resultados da ANOVA para firmeza .....	72
Tabela 3 - Resultados da ANOVA para ATT .....	72
Tabela 4 - Resultados da ANOVA para SST .....	72
Tabela 5 - Resultados da ANOVA para variação da cor da epiderme .....	72
Tabela 6 - Modelos matemáticos e coeficientes das características indicativas de qualidade em função das variáveis codificadas de tensão ( $x_2$ ) e tempo ( $x_1$ ) de aplicação dos campos elétricos.....	73

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Composição dos frutos maduros de tomate (% na matéria seca) ..	18
Quadro 2 - Teores de vitaminas nos frutos maduros de tomate (valores médios por 100 g de fruto fresco) .....	18

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores mundiais de frutas e hortaliças. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 2008 o Brasil produziu 19,3 milhões de toneladas de hortaliças, sendo que o tomate correspondeu a aproximadamente 20% dessa produção. Entretanto, apesar da significativa produção brasileira de hortaliças, os níveis médios de perdas pós-colheita estão entre 35 e 40%, devido, principalmente, a problemas decorrentes de embalagem, manuseio, transporte inadequado e técnicas de conservação incipientes (VILELA et al., 2003).

As frutas e hortaliças contêm um elevado teor de umidade, o que faz com que suas atividades metabólicas não cessem após a colheita, tornando-as alimentos altamente perecíveis. Embora existam algumas alternativas para preservar e agregar valor a esses alimentos, tais como comercializá-los desidratados ou em forma de polpa, a demanda pelos produtos frescos é muito grande devido ao seu alto valor nutricional. No Brasil, as características climáticas favorecem a rápida deterioração de frutas e hortaliças frescas, o que contribui para os altos índices de perdas observados (FERREIRA, 2007).

Diversas tecnologias têm sido estudadas e empregadas com a finalidade de retardar o processo de amadurecimento e aumentar a vida de prateleira de frutas e hortaliças, tal como o armazenamento refrigerado em atmosferas controladas e modificadas. Os tratamentos refrigerados são bastante utilizados, entretanto, além de não ser observada eficácia sempre que são empregados, eles podem causar alterações no sabor, aroma, aparência e perdas nutricionais nos alimentos (STEFFENS, 2006).

Sendo assim, nos últimos anos, algumas técnicas que utilizam tratamentos não térmicos para conservação de frutas e hortaliças no período pós-colheita têm sido testadas com resultados satisfatórios. Essas técnicas consistem em produzir uma atmosfera modificada, na qual as quantidades de  $O_2$  e  $CO_2$ , a temperatura e a umidade relativa retardem a taxa respiratória dos frutos, reduzindo as suas velocidades de deterioração, e, portanto, conservando por mais tempo a qualidade dos mesmos (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003; STEFFENS, 2006).

Um exemplo é o uso de campos elétricos de alta tensão, os quais reduzem a deterioração pela ação de diversos mecanismos, como a redução de esporos fúngicos, destruição de etileno e outros compostos voláteis que contribuem para o amadurecimento dos frutos, ionização negativa do ar e liberação de ozônio. Essa técnica, por consumir pouca energia, apresenta um custo relativamente baixo, o que a torna bastante atrativa (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003).

Uma alternativa seria aliar os tratamentos térmicos aos não-térmicos, conforme foi proposto por Wang, Wang e Li (2008), que realizaram estudos de aplicação de campos elétricos em tomates verdes cv. Chaoyan-219, aliado a um armazenamento refrigerado, pós-tratamento com campos elétricos, a temperatura de  $13 \pm 1$  °C e umidade relativa de 85-90%. Os autores observaram que a utilização do tratamento com campos elétricos juntamente com o armazenamento refrigerado resultou em uma diminuição da perda de firmeza e mudanças da cor da epiderme, e em picos respiratório e de produção de etileno mais tardios, o que indica frutos com maior qualidade.

O presente trabalho teve como objetivos construir um sistema experimental que permitisse a aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças, e testar a utilização desta técnica em tomates, avaliando-se sua eficácia a partir de análises de algumas características indicativas de qualidade, como perda de massa, variação da cor da epiderme, firmeza, acidez total titulável e teor de sólidos solúveis. Visando à comparação com uma técnica convencionalmente aplicada na conservação de tomates, foi avaliado também o uso de tratamentos refrigerados e a eficácia dos diferentes tratamentos no aumento do tempo de prateleira de tomates foi analisada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade de frutas e hortaliças no período pós-colheita é comumente avaliada a partir de mudanças físicas e químicas que ocorrem durante a maturação, e que são peculiares a cada espécie e cultivar, variando também de acordo com características de cultivo, tal como clima e solo.

A avaliação da qualidade é de extrema importância na determinação do potencial de armazenamento de cultivares e espécies sensíveis a distúrbios fisiológicos e podridões, e permite estabelecer períodos máximos de armazenamento com manutenção da qualidade dos produtos, minimizando, desse modo, as perdas (SCHÜNEMANN, 2009).

### 2.1 Tomate

#### 2.1.1 Aspectos gerais

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), assim como a batata, pimentão e berinjela pertence à família das *Solenáceas*, entretanto, apesar de ser comercializada como uma hortaliça é botanicamente um fruto, uma vez que é gerado a partir da fecundação da flor do tomateiro (COOPERCITRUS, 2010). Desse modo, no presente texto, os termos fruto e hortaliça serão usados em referência ao tomate.

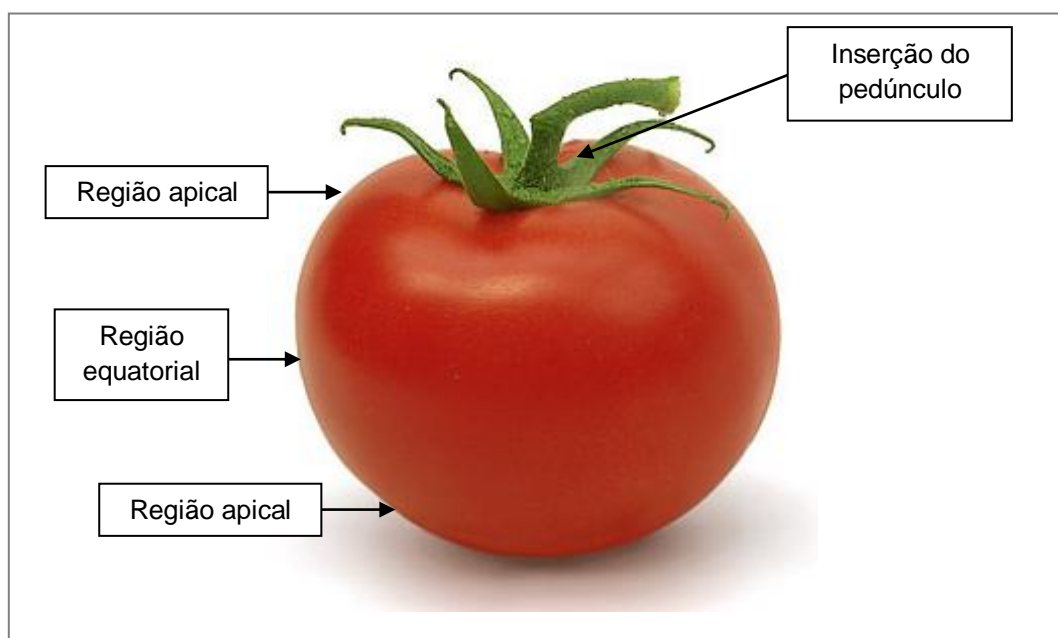
O tomate teve origem na região Andina, que vai do norte do Chile até o Equador, entretanto, sua ampla domesticação se deu no México (NAIKA et al., 2006). Entre os anos de 1523 e 1554, os espanhóis introduziram o tomate na Europa como planta ornamental, sendo que o seu uso na culinária foi retardado por ter sido considerado tóxico. Somente mais tarde sua cultura disseminou-se para a Ásia, África, Oriente Médio e outras partes da América do Sul (CAMARGO et al., 2006; NAIKA et al., 2006).

Atualmente, o tomate encontra-se entre as hortaliças mais consumidas do mundo. Segundo a FAOSTAT (2011), o Brasil é o oitavo produtor mundial de tomates, detendo cerca de 3% da produção mundial, o que equivale a aproximadamente 4,4 milhões de toneladas por ano. Os principais estados produtores são Goiás, São Paulo e Minas Gerais, detendo, respectivamente, 32,6%, 18,0% e 11,0% da produção brasileira (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011).

O tomate é um fruto climatérico, ou seja, exibe um pico característico da taxa respiratória e produção de etileno durante o seu amadurecimento, o qual resulta em grandes alterações no seu metabolismo, e está intimamente ligado às características do meio em que o fruto está inserido como a umidade relativa e temperatura (ANDREWS, 1995).

Uma vez que o tomate é um fruto macio, protegido por uma cutícula quase impermeável a gases e água, as trocas que acontecem entre o fruto e o ambiente nos processos de respiração e produção de etileno se dão, quase que exclusivamente, pela inserção do pedúnculo (Figura 1) (CALBO; LUENGO, 2001).

**Figura 1 - Regiões do fruto de tomate**



**Fonte: RODRIGUES (2012)**

Assim como a maioria das frutas e hortaliças, o tomate contém um elevado teor de umidade, o que faz com que suas atividades metabólicas não cessem após a colheita, tornando-o um produto altamente perecível, de modo que aproximadamente 40% da produção é perdida no período pós-colheita (SOARES, 2009).

Embora existam algumas alternativas para preservar e agregar valor ao tomate, tal como comercializá-lo desidratado ou na forma de polpa, a demanda pelo produto fresco é muito grande.

Sendo assim, nas últimas décadas, a cadeia produtiva de tomates para o consumo *in natura* sofreu grandes transformações tecnológicas no Brasil. Dentre elas, está a utilização de sementes híbridas que produzem frutos com uma melhor conservação no período pós-colheita, como é o caso da cultivar Paron. Os tomates híbridos Paron são frutos de sabor marcante, firmes, com coloração vermelho intenso e com boa cotação no mercado, o que resulta em um alto grau de preferência pelo consumidor (DELLA VECCHIA; KOCH, 2000).

Ainda, com a finalidade de suprir a demanda por produto fresco, a técnica da refrigeração é comumente utilizada, já que ela é eficaz no aumento do seu tempo de vida. Entretanto, o tomate é um fruto bastante sensível, sofrendo injúrias pelo frio em temperaturas muito baixas (WANG; WANG; LI, 2008).

Diversos métodos, como o tratamento com etanol e armazenamento em atmosferas controladas e modificadas, têm sido utilizados com o objetivo de aumentar o tempo de prateleira do tomate, entretanto, eles possuem limitações nas suas aplicações devido aos seus altos custos, dificuldades operacionais e por causarem efeitos negativos na manutenção do sabor e qualidade dos frutos (WANG; WANG; LI, 2008).

Sendo assim, tem-se dado grande atenção ao desenvolvimento de métodos alternativos, que sejam eficazes no aumento do tempo de prateleira de tomates, e que também possibilitem manter a qualidade e sabor dos frutos em condições de estocagem sob refrigeração e à temperatura ambiente.

### **2.1.2 Características nutricionais**

O tomate é um alimento funcional rico em vitaminas A, C e E, ácido fólico, minerais, como fósforo, ferro e potássio, carotenóides, como o  $\beta$ -caroteno e licopeno, flavonoides e, ainda, possui baixo teor calórico (CARVALHO et al., 2006).

Em sua composição, o tomate possui de 93 a 95% de água, e, nos 5 a 7% restantes, encontram-se compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos, conforme pode ser observado no Quadro 1 (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2006).

**Quadro 1 - Composição dos frutos maduros de tomate (% na matéria seca)**

<b>Açúcares (sólidos solúveis)</b>	
Glucose	22
Frutose	25
Sucrose	1
<b>Sólidos insolúveis em álcool</b>	
Proteínas	8
Substâncias pécicas	7
Hemicelulose	4
Celulose	6
<b>Ácidos orgânicos</b>	
Ácido cítrico	9
Ácido málico	4
<b>Minerais</b>	
Principalmente K, Ca, Mg e P	8
<b>Outros</b>	
Lipídios	2
Aminoácidos dicarboxílicos	2
Pigmentos	0,4
Ácido ascórbico	0,5
Voláteis	0,1
Outros aminoácidos, vitaminas e polifenóis	1

Fonte: DAVIES; HOBSON<sup>1</sup> apud EMBRAPA HORTALIÇAS (2006)

As vitaminas estão presentes em pequenas proporções no total de matéria seca dos tomates (Quadro 2), entretanto, essas substâncias são importantes do ponto de vista nutricional (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2006).

**Quadro 2 - Teores de vitaminas nos frutos maduros de tomate (valores médios por 100 g de fruto fresco)**

Vitamina A ( $\beta$ -caroteno)	900 – 1271 i.u.*
Vitamina B1 (tiamina)	50 – 60 mg
Vitamina B2 (riboflavina)	20 – 50 mg
Vitamina B3 (ácido pantotênico)	50 – 750 mg
Vitamina do complexo B6	80 – 110 mg
Ácido nicotínico (niacina)	500 – 700 mg
Ácido fólico	6,4 – 20 mg
Biotina	1,2 – 4,0 mg
Vitamina C	15000 – 23000 mg
Vitamina E (a-tocoferol)	40 – 1200 mg
Ácido cítrico	9
Ácido málico	4

Fonte: DAVIES; HOBSON<sup>1</sup> apud EMBRAPA HORTALIÇAS (2006)

Nota: \* 1 i.u. (unidade internacional) = 0,6 mg de  $\beta$ -caroteno

<sup>1</sup>DAVIES, J. N.; HOBSON, G. E. The constituents of tomato fruit – the influence of environment, nutrition and genotype. **CRC Critical Review of Food Science Nutrition**, n. 15, p. 205-280, 1981.

Embora não seja considerado um nutriente essencial, o licopeno, carotenóide encontrado predominantemente em tomates, pode trazer diversos benefícios à saúde. Ele possui propriedades antioxidantes, reduz os riscos de desenvolvimento de arteriosclerose e doenças coronárias, e previne a proliferação de células cancerígenas, tendo sido bastante associado à redução dos riscos de câncer de próstata e do sistema digestivo (CARVALHO et al., 2006; LEVY; SHARONI, 2004).

Ainda, a concentração de licopeno no tomate está relacionada a uma melhor percepção visual dos frutos, uma vez que ele é um pigmento natural que lhes confere a cor vermelha. O teor de licopeno varia em função da cultivar e do estágio de maturação do fruto, de modo que, quanto mais maduro e vermelho, maior é o seu teor de licopeno (CARVALHO et al., 2005).

## **2.2 Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças**

A qualidade de frutas e hortaliças no período pós-colheita é comumente avaliada a partir de mudanças físicas e químicas que ocorrem durante a maturação. Essas mudanças são ocasionadas pelos processos fisiológicos, como a respiração e produção de ozônio e etileno, os quais são responsáveis pela manutenção do metabolismo de frutas e hortaliças (SCHÜNEMANN, 2009).

### **2.2.1 Respiração**

No período pós-colheita a respiração torna-se o principal processo fisiológico dos frutos, uma vez que passa a haver uma dependência das reservas de substratos acumuladas durante o seu crescimento, e não mais da absorção de água e minerais pelas raízes, ou da atividade fotossintética das plantas que os originaram (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

Os frutos são classificados em climatéricos e não-climatéricos de acordo com os seus padrões respiratórios. Nos climatéricos, como é o caso do tomate, ocorre um aumento da atividade respiratória durante o amadurecimento, e o etileno é necessário para coordenar e complementar o amadurecimento. Já nos não-climatéricos, a taxa respiratória diminui durante o amadurecimento, e as transformações bioquímicas que tornam o fruto maduro acontecem de forma mais lenta (CAVALINI, 2004).

O processo respiratório consiste na decomposição oxidativa de substâncias complexas presentes nas células, como amido, açúcares e ácidos orgânicos, em moléculas mais simples, como água e CO<sub>2</sub>, com a finalidade de obter a energia (calor e ATP) necessária para a manutenção do metabolismo celular. Se o O<sub>2</sub> disponível não for o suficiente, a fermentação ou a respiração anaeróbia são desencadeadas, com a formação de aldeídos e alcoóis, os quais conferem odores e sabores indesejados aos frutos (FONTES, 2005; GÓMEZ, 2005).

A vida de prateleira dos frutos está intimamente ligada às suas atividades respiratórias, uma vez que a respiração é responsável pela síntese de diversos compostos que são fundamentais ao amadurecimento dos frutos.

Sendo assim, o tratamento de frutos é feito com a finalidade de obter-se uma atmosfera em que a atividade respiratória seja reduzida. Em tratamentos térmicos em atmosferas modificadas, a redução da taxa respiratória ocorre devido à diminuição da atividade de enzimas envolvidas na respiração, pela baixa temperatura, baixas concentrações de O<sub>2</sub>, sem que a fermentação ou a respiração anaeróbia sejam desencadeadas, e altas concentrações de CO<sub>2</sub>, o que reduz, de modo geral, a taxa de utilização de substratos de reserva e aumenta a vida pós-colheita (STEFFENS, 2006).

O efeito da aplicação de campos elétricos sobre a taxa respiratória de *cranberries* (PALANIMUTHU et al., 2009) e maçãs de diferentes cultivares (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004b) foi testado, e, para ambas espécies, constatou-se uma redução significativa desta taxa. Embora os mecanismos pelos quais a taxa respiratória é reduzida pela aplicação de campos elétricos ainda não sejam muito claros, a sua redução está ligada ao retardo da deterioração dos frutos, e, portanto, ao aumento do tempo de prateleira dos mesmos.

### **2.2.2 Etileno**

O etileno é um hormônio vegetal que afeta as diversas fases do desenvolvimento, como a floração, o crescimento, a senescência, e, principalmente, o amadurecimento de frutos climatéricos (LOMBARDI; MORAES; CAMELLATO, 2000).

A influência dos níveis de etileno no amadurecimento dos frutos é muito variável, mesmo em cultivares de uma mesma espécie, todavia, de modo geral, em quantidades muito baixas, ele é capaz de desencadear os processos bioquímicos e fisiológicos dos frutos, sendo que a sensibilidade a ele parece aumentar com o desenvolvimento, alcançando-se uma maior sensibilidade durante o amadurecimento (KOIKE, 2007).

Em trabalho conduzido para tomates cv. Débora, observou-se que a aplicação exógena de  $100 \mu\text{L.L}^{-1}$  de etileno em tomates armazenados à temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  estimulou o amadurecimento dos frutos, o que foi evidenciado pela variação da cor da epiderme e aumento das perdas de firmeza e massa (ANDREUCCETTI, 2005).

Embora inicialmente os frutos tenham sido classificados em climatéricos e não-climatéricos tendo em vista seus padrões respiratórios, mais tarde percebeu-se que esses padrões estavam relacionados à produção de etileno durante o período de amadurecimento. Em frutos climatéricos, como o tomate, há um aumento na sua produção durante o amadurecimento, enquanto que os não-climatéricos produzem pouco etileno. Embora os frutos sejam capazes de produzir etileno, apenas os climatéricos são capazes de realizar a síntese autocatalítica, ou seja, o próprio hormônio induz a atividade das enzimas responsáveis pela sua produção (KOIKE, 2007).

O conhecimento do potencial de produção de etileno dos frutos no período pós-colheita é de extrema importância, uma vez que o armazenamento, em uma mesma câmara, de frutos com diferentes taxas de produção, acelerará a senescência dos frutos com menores taxas, diminuindo os seus tempos de vida pós-colheita (FONTES, 2005).

Atungulu, Nishiyama e Koide (2003, 2004b) afirmam que, ao submeter diferentes cultivares de maçã a tratamentos com descarga corona, a qualidade das mesmas é afetada pela destruição de etileno e outros compostos voláteis, o que resulta no aumento dos seus tempos de prateleira.

Weiqing et al. (2011) realizaram um estudo sobre a aplicação de campos eletrostáticos de alta tensão para a remoção de etileno de uma câmara

de estocagem de frutas e hortaliças frescas. Foram usados dois tipos de configuração de eletrodos para a geração do campo elétrico, sendo uma de ponta-ponta e outra de ponta-placa.

Os autores observaram que para uma concentração inicial de 200 ppm de etileno e aplicação de tensão de -17 kV, após 3 a 5 segundos de operação do sistema, os eletrodos ponta-ponta removeram aproximadamente 100% do etileno, e os eletrodos ponta-placa removeram 70% do etileno. Isso indica que o uso de campos eletrostáticos de alta tensão é eficaz na remoção de etileno.

### **2.2.3 Ozônio**

O ozônio ( $O_3$ ), é uma forma alotrópica instável do oxigênio ( $O_2$ ) e foi descoberto no século XIX. A sua síntese pode ser feita a partir de diversos métodos, sendo que o principal deles é pela descarga corona, a qual produz, em relação aos outros métodos, uma grande quantidade de ozônio a um baixo custo (CHIATTONE; TORRES; ZAMBIAZI, 2008).

O uso do ozônio na conservação de frutas e hortaliças tem crescido bastante nos últimos anos devido a sua capacidade de realçar o sabor, sua rápida degradação, não deixando resíduos nos alimentos tratados, e seu alto poder germicida, tendo em vista que grande parte das perdas de frutos no período pós-colheita se dá devido à ação de bactérias, fungos e infestações por insetos (CHIATTONE; TORRES; ZAMBIAZI, 2008).

Atungulu, Atungulu e Nishiyama (2005a) observaram que para maçãs Fuji submetidas a um tratamento contínuo à temperatura de 20°C, com aplicação de descarga corona, a qual produz grande quantidade de ozônio, o apodrecimento dos frutos e o crescimento de fungos foram retardados. Já para ameixas submetidas a um tratamento contínuo à temperatura de 24°C, utilizando placas paralelas de alumínio como eletrodos, as quais produzem um campo elétrico linear e não uma descarga corona, não houve um controle significativo do apodrecimento e crescimento de fungos.

## **2.3 Atributos de qualidade das frutas**

Geralmente, a qualidade de frutas e hortaliças é determinada a partir da avaliação de algumas características das mesmas, tais como firmeza da

polpa, acidez total titulável, cor da epiderme, perda de massa e teor de sólidos solúveis. Essas características se alteram no pós-colheita devido a processos fisiológicos que ocorrem nesse período, sendo a respiração a principal responsável pelas alterações (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003).

### **2.3.1 Firmeza da polpa**

Durante o período de amadurecimento dos frutos, diversas alterações físicas e químicas ocorrem, dentre elas, o amolecimento da sua polpa. Esse processo de amolecimento requer bastante atenção, já que se não houver um amolecimento adequado, o alimento não terá aceitação pelo mercado consumidor. Ainda, se o amolecimento ocorrer prematuramente, o manejo e armazenamento dos frutos serão prejudicados, acarretando em uma maior quantidade de perdas pós-colheita (GÓMEZ, 2005). A firmeza da polpa refere-se, portanto, ao grau de dureza dos frutos, e é determinada por três fatores: a pressão de turgor das células, que varia em função da pressão interna de água, a quebra de amido e alterações na parede celular (FONTES, 2005; GÓMEZ, 2005).

Diferentes instrumentos podem ser utilizados para medir a firmeza da polpa, dentre eles, o penetrômetro, que mede a força de penetração de uma ponteira cilíndrica nos frutos, e o aplanador, o qual é utilizado para medidas rápidas e acuradas da pressão de aplanção, de acordo com a razão entre a força aplicada na superfície do fruto e a área aplanada (CALBO; NERY 1995).

Tipicamente, a firmeza da polpa diminui com o amadurecimento de frutos como tomate, mamão, maçã, caqui e pera (FERREIRA, 2008).

Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) observaram que diferentes cultivares de maçãs submetidas à descarga corona apresentaram-se mais rígidas que maçãs não tratadas, ou seja, suas firmezas de polpa foram maiores que as dos frutos não tratados, o que indica que a aplicação do campo elétrico retardou o amolecimento dos frutos, aumentando os seus tempos de prateleira.

### **2.3.2 Acidez total titulável (ATT)**

A acidez das frutas e hortaliças é dada pela presença de ácidos orgânicos, os quais são uma importante fonte de energia durante o período de

amadurecimento, uma vez que são utilizados como substrato no processo respiratório, além de comporem o aroma característico dos frutos, já que muitos desses ácidos são voláteis (FONTES, 2005; GÓMEZ, 2005).

Geralmente, durante o período de maturação a acidez dos frutos diminui, sendo a acidez um forte indicador do ponto de colheita e do estágio de maturação. Essa tendência de diminuição da acidez é explicada devido à utilização de ácidos orgânicos no processo respiratório e da sua conversão em açúcares, já que durante o amadurecimento a demanda energética é maior devido ao aumento do metabolismo dos frutos (CAVALINI, 2004; FONTES, 2005; GÓMEZ, 2005; SANTOS FILHA, 2006).

A quantidade e tipo de ácido orgânico predominante variam bastante para diferentes espécies de frutas e hortaliças. Para tomates, o ácido orgânico predominante é o cítrico.

Kharel e Hashinaga (1996) observaram que para tratamentos intermitentes utilizando placas paralelas de cobre como eletrodos, morangos apresentaram diminuição da acidez, o que está de acordo com o esperado. Todavia, eles constataram que a aplicação do campo elétrico não afetou significativamente essa característica química dos frutos, não contribuindo, portanto, no que diz respeito à acidez, para o aumento da vida pós-colheita.

### **2.3.3 Teor de sólidos solúveis (SST)**

O teor de sólidos solúveis de um fruto representa a quantidade de sólidos solúveis em água presente nele, como açúcares, ácidos, vitaminas, aminoácidos e pectinas (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

Durante a maturação do fruto, geralmente o conteúdo de sólidos solúveis aumenta, devido à biossíntese, à degradação de polissacarídeos, ou à perda de água pelo fruto, o que acarreta em uma maior concentração dos sólidos. Portanto, esse conteúdo é utilizado como indicativo do estágio de maturação de algumas frutas e hortaliças, como tomate, mamão, acerola e manga (CAVALINI, 2004; FONTES, 2005; SANTOS FILHA, 2006).

A determinação do teor de sólidos solúveis é geralmente feita através de um refratômetro, o qual apresenta uma estimativa do teor de açúcares dos

frutos, composto, principalmente, por frutose, glicose e sacarose. Portanto, o aumento da concentração de sólidos solúveis durante o amadurecimento pode ser explicado pelo fato dos frutos continuarem a acumular açúcares no período pós-colheita, que são majoritariamente originados da hidrólise do amido (SANTOS FILHA, 2006).

Atungulu, Nishiyama e Koide (2003, 2004a) observaram que para algumas cultivares de maçã, tanto tratamentos com descarga corona quanto utilizando placas paralelas de alumínio como eletrodos, suprimiram mudanças nas concentrações de sólidos solúveis em relação às amostras não tratadas. Já Palanimuthu et al. (2009), constataram que após uma semana de tratamento utilizando placas paralelas de cobre como eletrodos, amostras de *cranberries* tratadas não apresentaram diferença significativa no teor de sólidos solúveis em relação às amostras não tratadas.

#### **2.3.4 Cor da epiderme**

A cor de frutas e hortaliças, caracterizada pela presença de determinados pigmentos nas suas epidermes, tal como carotenóides, antocianinas e clorofilas e de alguns nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, é um importante atributo de qualidade, uma vez que além de contribuir para uma boa aparência, influencia fortemente a preferência do consumidor (CAVALINI, 2004; GÓMEZ, 2005).

Durante o período de amadurecimento, a maioria dos frutos apresenta alterações na coloração da epiderme, sendo esse, portanto, um parâmetro que permite avaliar o grau de maturação dos mesmos.

As alterações na coloração dos frutos se dão por reações de síntese e degradação de pigmentos. Majoritariamente, essas alterações são resultado da degradação da clorofila, que ocorre devido às alterações no pH, acidez e ação de clorofilases. Ainda, a síntese de outros pigmentos, como as antocianinas e carotenóides também contribui para que as alterações ocorram (CAVALINI, 2004).

Geralmente, a cor da epiderme é medida a partir de um colorímetro, o qual expressa a cor em função de valores de luminosidade (L), intensidade da

cor verde ou vermelha (a) e intensidade da cor azul ou amarela (b) (SANTOS FILHA, 2006).

Palanimuthu et al. (2009) submeteram *cranberries* a campos elétricos utilizando placas paralelas de cobre como eletrodos e observaram uma mudança relativamente igual na coloração de frutos tratados e não tratados em relação às suas colorações iniciais, evidenciando que os tratamentos não apresentaram efeito nessa característica dos frutos.

Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) observaram que diferentes cultivares de maçãs submetidas à descarga corona apresentaram menor variação na cor em relação às suas colorações iniciais do que frutos não tratados, constatando que o tratamento foi, quanto à essa característica, eficaz no controle da maturação dos frutos.

### **2.3.5 Perda de massa**

Uma vez que a perda de matéria fresca devido ao consumo de substratos no processo respiratório é muito inferior à perda de água, no período pós-colheita, a perda de água é a maior responsável pela perda de massa dos frutos (SANTOS FILHA, 2006).

A velocidade com que a água é perdida está diretamente ligada à diferença de pressão de vapor entre a fruta e o ambiente, uma vez que se a umidade do meio exterior for inferior à do fruto, a água do fruto será transferida para o ambiente. Além disso, tendo em vista que a umidade de saturação do ar aumenta com o aumento da temperatura ambiente, a temperatura é outro fator que influencia fortemente a perda de massa, uma vez que em altas temperaturas, a perda de água dos frutos por desidratação é maior (LOMBARDI; MORAES; CAMELLATO, 2000; SANTOS FILHA, 2006).

Palanimuthu et al. (2009) observaram que *cranberries* submetidas à aplicação de um campo elétrico, utilizando placas paralelas de cobre como eletrodos, não apresentaram significativas diferenças na perda de massa em relação às *cranberries* não tratadas, o que não permite identificar um efeito do tratamento sobre essa característica dos frutos. Foi observado que com o aumento do período de estocagem, a perda de massa foi maior.

Atungulu, Nishiyama e Koide (2004b) observaram que para algumas cultivares de maçãs submetidas a tratamentos com campos elétricos, a baixas temperaturas (0°C), os frutos tratados apresentaram uma perda de massa maior que os não tratados, enquanto que a temperaturas mais altas (23°C), frutos tratados tiveram perda de massa menor que frutos não tratados. Isso foi explicado pelo fato dos frutos tratados a temperaturas mais elevadas apresentarem uma tendência de endurecimento da epiderme durante o tratamento, o que limitou a perda de água pelos mesmos, fato que não foi observado para os frutos tratados à temperatura mais baixa.

#### **2.4 Tratamentos refrigerados em frutas e hortaliças**

O armazenamento refrigerado, que consiste na redução da temperatura e controle da umidade relativa, é a técnica mais utilizada para aumentar o tempo de prateleira de frutas e hortaliças. Com a redução da temperatura, as reações enzimáticas envolvidas no processo respiratório ocorrem mais lentamente, fazendo com que os frutos demorem mais a chegar ao período de senescência (BRON, 2006).

A refrigeração, portanto, é responsável pela diminuição da velocidade dos processos metabólicos do fruto, que conduzem à maturação e senescência, sem, no entanto, alterar sua fisiologia de amadurecimento a ponto de causar distúrbios que comprometam a sua qualidade (SILVA; SOARES, 2001).

A intensidade adequada do resfriamento varia bastante para cada espécie e variedade, e também em função do grau de maturação e do período de tempo de armazenamento dos frutos.

Por ser um fruto tropical sensível ao frio, o tomate não tolera temperaturas de armazenamento muito baixas. Segundo Moraes (2006), tomates no estágio de maturação “verde-maduro”, ou seja, aqueles que possuem coloração vermelha em até 10% da sua superfície, devem ser armazenados em temperaturas entre 10 e 13°C e umidade relativa entre 90 e 95%, alcançando assim, uma vida de prateleira de 2 a 5 semanas. Já tomates maduros devem ser armazenados entre 8 e 10°C e umidade relativa entre 85 e 90%, alcançando uma vida de prateleira de 1 a 3 semanas (MORAES, 2006).

## 2.5 Descarga corona

A descarga corona tem sido estudada para diversos tipos de aplicações, como tratamentos de materiais, produção de ozônio, precipitação eletrostática, manutenção da qualidade de frutas, sucos e hortaliças frescas (SENA, 2011).

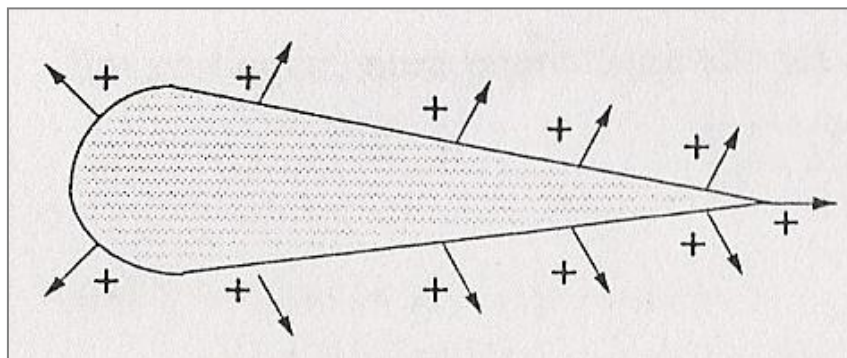
Nos tópicos a seguir, será apresentada uma descrição sucinta sobre a descarga corona e os mecanismos envolvidos.

### 2.5.1 Características gerais

A descarga corona é uma descarga elétrica que ocorre devido à ionização de um material isolante, geralmente um gás (ar,  $N_2$ ,  $O_2$  e outros), quando um potencial elétrico adequado é aplicado entre dois eletrodos metálicos, sendo um altamente curvo, como uma ponta, uma esfera etc. e um plano, como uma placa ou um cilindro (SELLIN, 2002).

Tendo em vista que a densidade de carga e, conseqüentemente, o campo elétrico existente nas vizinhanças da superfície de um condutor (eletrodo) é inversamente proporcional ao seu raio de curvatura, a utilização de um eletrodo com geometria de ponta para geração da descarga corona é uma boa opção, uma vez que o campo elétrico se torna mais intenso na vizinhança de uma ponta, onde o raio de curvatura do condutor é menor (Figura 2) (NUSSENZVEIG, 1997).

**Figura 2 - Densidade de carga na superfície de um eletrodo de ponta**

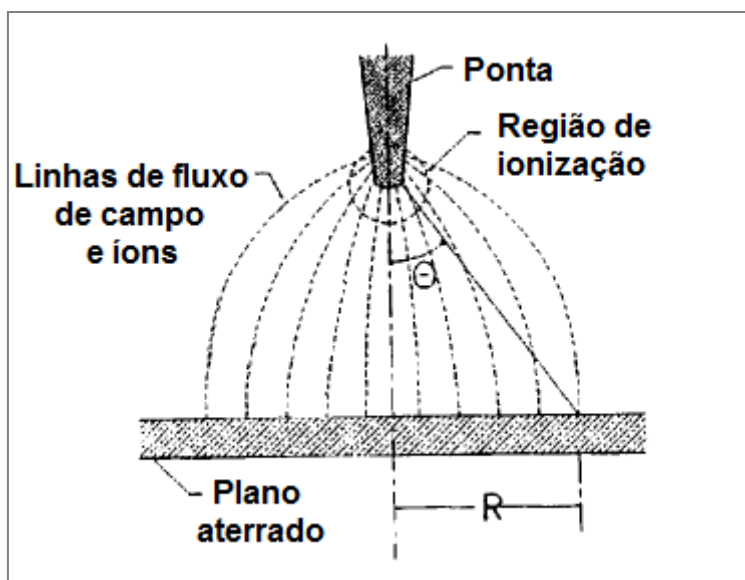


Fonte: NUSSENZVEIG (1997)

Sendo assim, para uma configuração ponta-plano, o ar próximo ao eletrodo de descarga (ponta) se torna ionizado devido ao alto campo elétrico existente nessa região, de modo que a ponta atrai íons de carga oposta e

repele íons de mesmo sinal, o que desencadeia diversos processos físicos que tendem a descarregar o eletrodo de ponta, resultando na descarga corona (Figura 3) (GIACOMETTI; OLIVEIRA JR., 1992; NUSSENZVEIG, 1997).

**Figura 3 - Representação da descarga corona na geometria ponta-placa**



Fonte: GIACOMETTI; OLIVEIRA JR. (1992)

A descarga corona pode ser positiva ou negativa, dependendo da polaridade dos eletrodos. Embora as descargas coronas de ambas as polaridades apresentem muitas características semelhantes, os processos físicos envolvidos diferem entre os dois tipos de descarga (BEGGS, 2006).

Uma característica comum aos dois tipos é a formação de uma avalanche de elétrons, a qual ocorre quando um campo elétrico de alta tensão, superior a um nível crítico, atua sobre elétrons livres presentes no gás. O campo elétrico acelera os elétrons livres, de modo que eles adquirem energia cinética suficiente para ocasionar uma ionização quando colidem com moléculas neutras de gás, sendo que durante essas colisões ocorre a liberação de íons positivamente carregados e elétrons adicionais que também são capazes de ionizar o gás. Com a continuidade do processo, a quantidade de elétrons no gás aumenta rapidamente e, então, uma avalanche se forma. (BEGGS, 2006; WHAT, 2004).

Por outro lado, os mecanismos envolvidos na geração de descargas coronas positiva e negativa diferem entre si em diversos pontos, como, por exemplo (NÓBREGA, 2002):

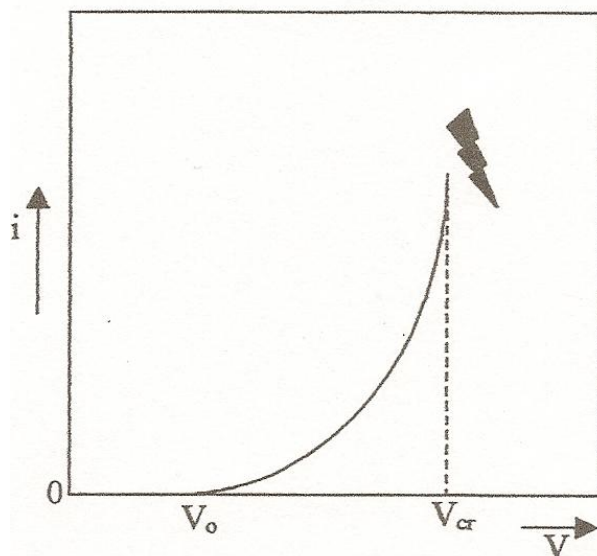
- Na corona positiva, o eletrodo ativo (ponta) serve como eletrodo de coleta para os elétrons e não executa função de ionização, enquanto que na corona negativa ele desempenha um papel importante como fonte de realimentação de elétrons utilizados na ionização primária;
- Na corona positiva, a ionização ocorre exclusivamente através da liberação fotoelétrica de elétrons das moléculas de gás, enquanto que na corona negativa ela pode ocorrer por liberação de elétrons do eletrodo de ponta através da colisão de íons positivos gerados na zona ativa, e por efeito fotoelétrico.

Uma das implicações que essas diferenças de mecanismos acarreta é que, para uma mesma tensão aplicada entre os eletrodos, a quantidade de ozônio produzida é muito maior na corona negativa do que na positiva (COSTA, 2005). Uma vez que o ozônio possui alto poder germicida e de realçar o sabor, tem-se obtido resultados satisfatórios ao submeter-se frutas e hortaliças de diferentes espécies a tratamentos com descargas coronas negativas (CHIATTONE; TORRES; ZAMBIAZI, 2008; ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a).

### 2.5.2 Potencial aplicado e a corrente

A relação entre o potencial aplicado ( $V$ ) e a corrente ( $i$ ) apresenta uma tendência típica, a qual está ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Relação típica entre o potencial aplicado ( $V$ ) e a corrente ( $i$ )



Fonte: NÓBREGA (2002)

Aumentando desde zero a tensão aplicada entre dois eletrodos pontaplano, verifica-se que a corrente que flui entre eles é desprezível, até que o potencial atinge um determinado valor ( $V_0$ ), onde uma corrente elétrica pode ser medida, o que indica o início da descarga corona. Após este ponto, o aumento da tensão aplicada implica em um aumento na corrente corona do sistema, até que o potencial atinge um valor crítico ( $V_{cr}$ ), no qual ocorre a ruptura do gás (COSTA, 2005; NÓBREGA, 2002).

Diversos fatores influenciam diretamente a relação existente entre a corrente corona e o potencial aplicado entre dois eletrodos metálicos, como o projeto mecânico do sistema gerador da descarga (geometria e dimensões dos eletrodos, distância entre os eletrodos), a composição do gás utilizado e as características do ambiente, como temperatura, pressão e umidade relativa (COSTA, 2005; JOB, 1989; NÓBREGA, 2002).

O eletrodo de descarga pode se apresentar sob algumas geometrias diferentes, como fio de seção circular, ponta cilíndrica, bastão estrelado etc., de modo que cada geometria apresenta um comportamento diferente para a curva que relaciona a corrente corona com a tensão aplicada (JOB, 1989; NÓBREGA, 2002).

White<sup>2</sup> apud Nóbrega (2002) afirma que um aumento no diâmetro de um eletrodo cilíndrico de descarga provoca uma redução na corrente corona gerada para uma dada tensão aplicada, além de aumentar o potencial de início de descarga corona ( $V_0$ ). Ainda, Job (1989) observou que, para um eletrodo de ponta, o ângulo cônico da ponta influencia a distribuição da corrente corona sobre um plano coletor.

A distância entre os eletrodos é outro fator que influencia a relação existente entre a corrente corona e a tensão aplicada (GOLDMAN; GOLDMAN; SIGMOND, 1985; NÓBREGA, 2002). Segundo White<sup>2</sup> apud Nóbrega (2002), para uma determinada tensão aplicada, existe uma distância ótima entre dois eletrodos que resulta na produção de uma corrente corona máxima. Oglesby e

---

<sup>2</sup> WHITE, H. J. **Industrial Electrostatic Precipitation**, Addison-Wesley, MA, 1963. 376 p.

Nichols<sup>3</sup> apud Nóbrega (2002) comentam que a descarga corona é iniciada em um menor potencial aplicado quando a distância entre os eletrodos é menor, além de que, para uma dada tensão aplicada, a corrente corona gerada é menor para maiores distâncias entre os eletrodos.

Quanto à influência da temperatura, umidade relativa e pressão do ambiente na relação entre a tensão aplicada e a corrente corona, tem-se que quando há um aumento na temperatura, a energia cinética das moléculas do gás existente entre os eletrodos aumenta, resultando em um maior fluxo de corrente e em uma redução do potencial crítico do sistema, ainda, a densidade do gás diminui, o que ocasiona uma redução no potencial necessário para que a descarga corona se inicie. Já para um aumento na pressão, observa-se um aumento no potencial necessário para que a descarga se inicie e, para um dado potencial aplicado, um decréscimo na corrente corona do sistema (ARMAROLI, 2007; COSTA, 2005; NÓBREGA, 2002).

### **2.5.3 Aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças**

A aplicação de campos elétricos na preservação de frutas e hortaliças iniciou-se na década de 70, com um trabalho pioneiro a respeito da evaporação de água sob a influência de campos elétricos (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004b).

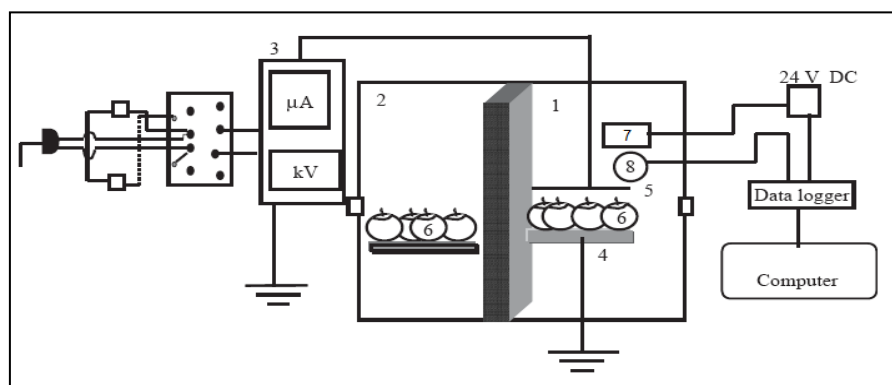
Posteriormente, estudos mostraram que a aplicação de campos elétricos obtidos a partir de descargas coronas é capaz de produzir uma atmosfera modificada, a qual contribui para retardar a deterioração de frutas e hortaliças através de alguns mecanismos, como a destruição de etileno e outros compostos voláteis, a remoção de esporos fúngicos, a produção e liberação de ozônio e íons negativos do ar e a diminuição da taxa respiratória (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003, 2004a).

O sistema experimental utilizado por Atungulu, Nishiyama e Koide (2004a) para avaliar o efeito da aplicação de campos elétricos no aumento da vida de prateleira de frutas e hortaliças é apresentado na Figura 5.

---

<sup>3</sup> OGLESBY, S.; NICHOLS, G. B. **Electrostatic Precipitation, Pollution Engineering and Technology**. New York: Marcel Dekker Inc, 1978.

**Figura 5 - Sistema experimental teórico para a aplicação de campos elétricos em frutas e hortaliças**



Fonte: ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE (2004a)

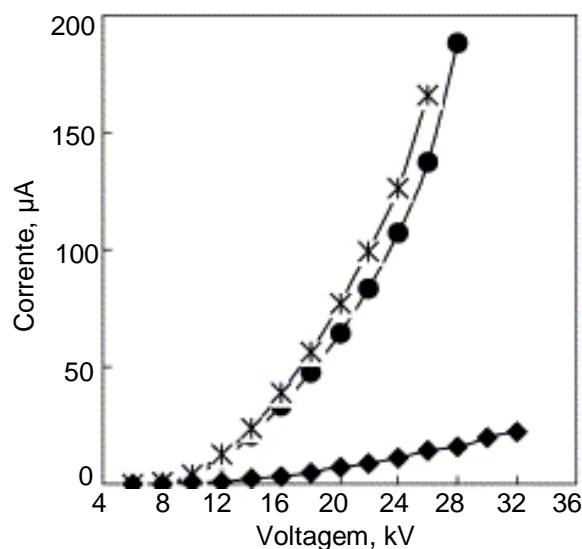
Os frutos (6) são alocados entre dois eletrodos de polaridades opostas, sendo um positivo, denominado cátodo (5) e um negativo, que se encontra aterrado, denominado ânodo (4), os quais se encontram separados por uma distância fixa e inseridos em uma câmara (1) (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a). Na câmara (2), são alocados os frutos que não serão tratados, a fim de que se tenha um parâmetro de comparação para avaliar os efeitos dos tratamentos (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a).

Um gerador de alta tensão (3), com tensão de saída de 0 a 100 kV e amperagem máxima de 200  $\mu$ A, é responsável por gerar um campo elétrico de alta tensão no espaço intereletrodo, o qual pode ser linear ou uma descarga corona, dependendo do tipo de configuração de eletrodos utilizada (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a). Para a geração de campos elétricos lineares, normalmente são utilizadas duas placas de alumínio ou cobre dispostas paralelamente, sendo uma aterrada e a outra não, as quais correspondem ao ânodo e cátodo, respectivamente (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a, PALANIMUTHU et al., 2009). Já para a geração da descarga corona, a qual é caracterizada por uma descarga parcial entre eletrodos ponta-placa, uma vez que existe uma barreira dielétrica (o fruto) no espaço intereletrodo, que evita a descarga completa, utiliza-se um anel com agulhas distribuídas equidistantemente por ele como cátodo, e uma placa metálica aterrada como ânodo (ARMAROLI, 2007; ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a).

Na câmara de tratamento, ainda foram inseridos um termopar (8) e um sensor de CO<sub>2</sub> (7), responsáveis por monitorar a temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera modificada, que são parâmetros que influenciam a qualidade de frutas e hortaliças (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2004a).

Tendo em vista que a intensidade do campo elétrico tem relação com a tensão externa aplicada entre os eletrodos e com a corrente do sistema e que esses parâmetros são usualmente utilizados para caracterizar o campo elétrico, Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) mensuraram a corrente do sistema de aplicação de campos elétricos em função da tensão externa aplicada para duas configurações de eletrodos diferentes (placa-placa e ponta-placa) separados por uma distância fixa de 8 cm (Figura 6).

**Figura 6 - Variação da corrente corona do circuito para cátodos ponta e placa usados em diferentes voltagens**



Fonte: ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE (2003)

Nota: —●— ponta (sem amostra); —×— ponta (com amostra); —◆— prato de alumínio

Os autores observaram que a corrente do sistema aumentou com o aumento da tensão externa aplicada, que as correntes foram maiores para a configuração ponta-placa, que a presença da amostra aumentou um pouco a corrente e que, a partir de 8 kV de tensão aplicada, houve um aumento significativo na corrente do sistema.

Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) avaliaram a influência da aplicação contínua e intermitente de descarga corona em diferentes cultivares de maçãs.

Os tratamentos contínuos foram realizados com aplicação de tensão de 10 kV, 24 horas por dia, durante 7 dias, à temperatura de 23°C e 75% de umidade relativa. Já os tratamentos intermitentes foram realizados com aplicação de 10 ou 20 kV, com aplicação por períodos de 1 ou 2 horas por dia.

Para avaliar a qualidade das frutas, foram analisadas variações na cor da epiderme, formação de íons negativos, propriedades mecânicas, teor de sólidos solúveis e a produção de CO<sub>2</sub>.

Os autores observaram que os valores obtidos para as propriedades analisadas variaram de acordo com as características dos tratamentos realizados, como a intensidade do campo elétrico aplicado, e se a aplicação foi contínua ou intermitente. De modo geral, constataram que os tratamentos possibilitaram o aumento do tempo de prateleira dos frutos, uma vez que a produção de CO<sub>2</sub> foi reduzida para as maçãs tratadas e armazenadas em temperatura ambiente (23°C), o que indica uma redução na taxa respiratória, e que o tratamento contínuo resultou em frutos mais firmes em relação aos não tratados.

Posteriormente, Atungulu, Nishiyama e Koide (2004a, 2004b) avaliaram a influência da configuração e polaridade dos eletrodos nas características indicativas de qualidade de maçãs. Propriedades como cor da epiderme, teor de sólidos solúveis, perda de massa e taxa respiratória foram afetadas de acordo com a intensidade e direção dos campos elétricos aplicados, a qual era alterada mudando a polaridade dos eletrodos utilizados.

Os autores indicaram a necessidade de otimizar a configuração dos eletrodos e de uma melhor avaliação dos efeitos dos tratamentos na composição química dos frutos.

Atungulu, Atungulu e Nishiyama (2005a) avaliaram a influência da configuração dos eletrodos e do tempo de tratamento no apodrecimento e crescimento de fungos em maçãs e ameixas. Foram avaliadas propriedades como cor da epiderme, teor de sólidos solúveis, perda de massa e pH.

Foi observado que as alterações na cor da epiderme dos frutos variaram de acordo com o tempo de exposição ao campo elétrico. O teor de

sólidos solúveis aumentou mais em frutas tratadas do que em não tratadas, enquanto que a perda de massa foi suprimida durante os tratamentos. O valor de pH praticamente não se alterou em amostras tratadas, enquanto que em não tratadas ele aumentou.

Maçãs e ameixas tratadas com descarga corona, gerada a partir de tensão de 10 e 40 kV, respectivamente, e armazenadas à temperatura de 20°C apresentaram um retardo no apodrecimento e crescimento de fungos, enquanto que ameixas tratadas com campo elétrico linear gerado a partir de tensão de 23 kV e armazenadas à temperatura de 24°C não apresentaram efeito no controle dessas características.

Atungulu et al. (2005b) estudaram a eficácia da aplicação de campos elétricos de alta tensão no aumento do tempo de estocagem de mini tomates cv. Chika. Foram realizados tratamentos contínuos e intermitentes (2 horas por dia) com aplicação de tensões de 10, 20, 30 e 40 kV, estocagem às temperaturas de 0, 4, 10 e 17°C, utilizando-se eletrodos placa-ponta e de placas paralelas. As propriedades avaliadas foram perda de massa e taxa respiratória.

Foi observado que, para tratamentos intermitentes, o uso de descarga corona, com aplicação de 10, 20 e 30 kV, resultou em uma maior perda de umidade nos frutos tratados, enquanto o uso de campo elétrico linear, com aplicação de 20, 30 e 40 kV não resultou em uma maior perda de umidade nos frutos tratados em relação aos de controle.

Tomates tratados intermitentemente com descarga corona gerada a partir de 20 e 30 kV e estocados à 0°C, apresentaram um declínio na taxa respiratória 48 horas após a aplicação dos campos elétricos em relação aos não tratados. Após 48 horas de estocagem, a taxa respiratória não mudou significativamente com o tempo de tratamento.

Frutos tratados intermitentemente com descarga corona gerada a partir de tensão de 20 kV e armazenados às temperaturas de 10 e 17 °C, cinco dias após o término dos seis dias de tratamento com campos elétricos, apresentaram um murchamento mínimo em suas superfícies.

Para tratamentos contínuos, após seis dias de tratamento com 20 kV (usando descarga corona) e 30 kV (usando campo elétrico linear), foi observada uma supressão da taxa respiratória em frutos tratados quando comparados com frutos não tratados.

Wang, Wang e Li (2008) analisaram a influência da polaridade de campos elétricos lineares na manutenção da qualidade de tomates verdes cv. Chaoyan-219. Os frutos foram tratados com -1, -2, -3, 1, 2 e 3 kV/cm durante 2 horas à temperatura de 20°C, e então estocados por 30 dias à temperatura de 13°C e umidade relativa de 85-90%. Foi observado que o uso de campo elétrico negativo (-2 kV/cm) foi capaz de diminuir a perda de firmeza, mudanças na cor, teor de sólidos solúveis e acidez total titulável dos frutos tratados durante a estocagem. Ainda, os picos respiratório e de produção de etileno foram retardados nos tratamentos com campos elétricos negativos por 6 e 3 dias, respectivamente.

Os autores constataram, portanto, que um campo elétrico de -2 kV/cm pode ser usado para manter a qualidade e aumentar o tempo de prateleira de tomates.

Palanimuthu et al. (2009) avaliaram a influência da aplicação de campos elétricos lineares no aumento do tempo de estocagem de *cranberries*. As intensidades dos campos elétricos aplicados foram de 2, 5 e 8 kV/cm, os tempos de aplicação 30, 60 e 120 min, e os frutos foram armazenados em ambiente controlado, com temperatura de 23°C e umidade relativa de 65%. As propriedades avaliadas foram a taxa respiratória, a perda de massa, a cor e o teor de sólidos solúveis. Foi observado que diferentes combinações de intensidades de campo elétrico e períodos de tratamento apresentaram resultados semelhantes. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas no teor de sólidos solúveis e perda de massa dos frutos tratados em relação aos não tratados, as taxas respiratórias foram suprimidas nos frutos tratados, o que indica que os tratamentos foram eficientes na conservação e aumento do tempo de prateleira de *cranberries*.

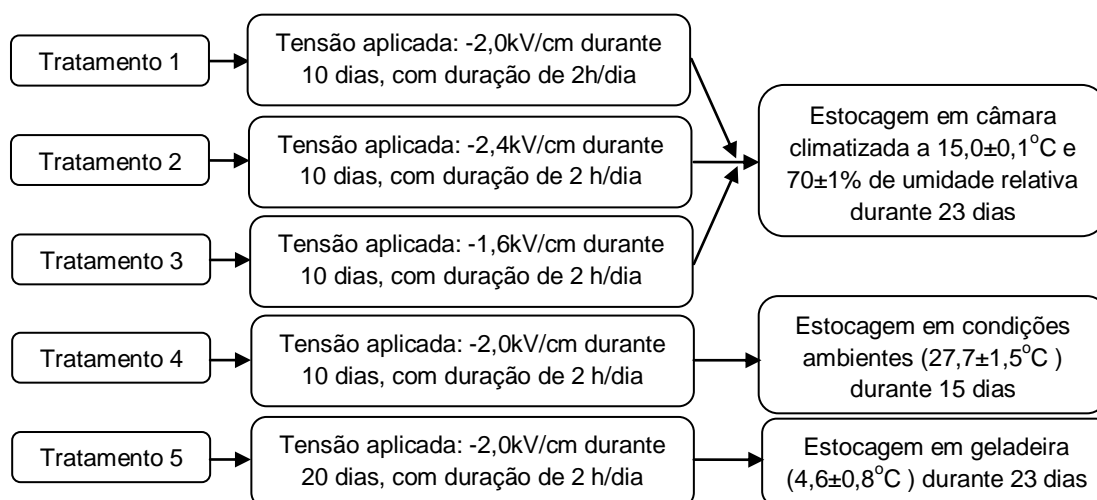
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados tomates frescos cultivares Andrea Victory e Paron, procurando-se obter amostras de coloração, tamanho e grau de maturação semelhantes.

Os tomates cv. Andrea Victory foram adquiridos em um estabelecimento comercial da cidade de São Carlos e os tomates cv. Paron foram fornecidos pela Batista Legumes, localizada no Ceagesp de São Paulo.

Os tomates cv. Andrea Victory foram utilizados para a realização de ensaios preliminares, sendo que foram testadas cinco condições diferentes, variando-se a tensão aplicada para geração da descarga corona, o tempo e as condições de estocagem dos frutos, conforme o esquema apresentado na Figura 7.

**Figura 7 - Tratamentos realizados nos tomates cv. Andrea Victory**



Fonte: Acervo pessoal (2012)

Tendo como base trabalho realizado por Wang, Wang e Li (2008), no qual foram obtidos resultados satisfatórios para tomates tratados intermitentemente com tensão externa aplicada de -2,0 kV/cm, determinou-se que nos ensaios preliminares seriam realizados tratamentos intermitentes com aplicação de tensão externa de -2,0 kV/cm, uma tensão superior ( -2,4 kV/cm) e uma inferior (-1,6 kV/cm).

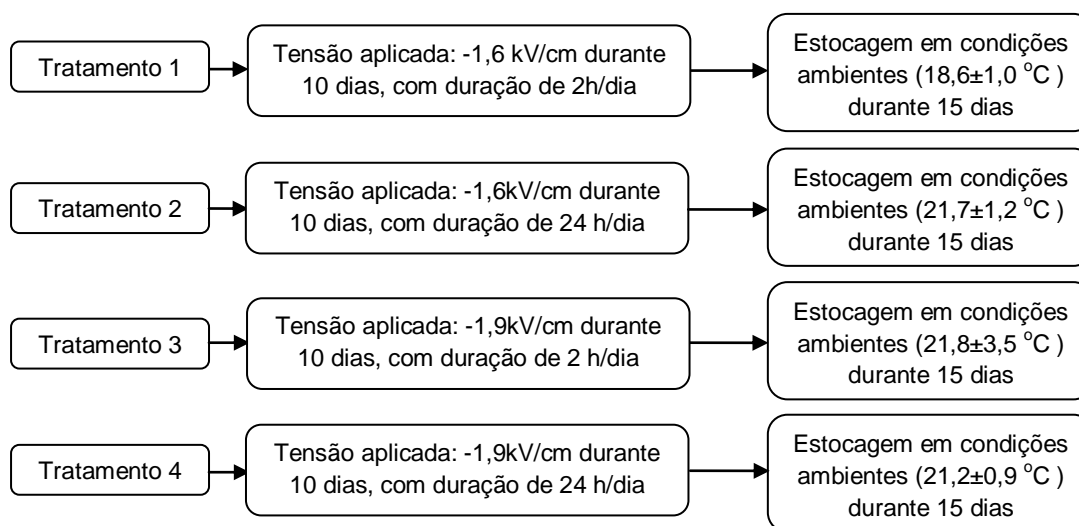
As condições de estocagem foram escolhidas de modo que uma delas, a câmara climatizada, seria uma condição recomendada para armazenamento

de tomates, com temperatura e umidade relativa ajustadas e mantidas constantes (em  $15,0 \pm 0,1$  °C e  $70 \pm 1\%$ ), e as outras duas, condições ambientes e geladeira doméstica convencional, condições usuais de armazenamento.

Devido ao fato da plantação do produtor de tomates cv. Andrea Victory ter sido infestada por pragas, o que interrompeu o fornecimento dos frutos por alguns meses, houve a necessidade de se encontrar uma alternativa que permitisse a continuidade dos estudos. Sendo assim, optou-se por trocar o fornecedor dos frutos e, conseqüentemente, passou-se a trabalhar com tomates cv. Paron.

Para os frutos da cv. Paron submetidos a tratamentos com campos elétricos foi empregado um delineamento estatístico inteiramente casualizado, com um esquema fatorial  $2^2$ , sendo a tensão aplicada um dos fatores, com dois níveis, inferior de  $-1,6$  kV/cm e superior de  $-1,9$  kV/cm, e o tempo de aplicação dos campos elétricos o outro fator, com dois níveis, sendo um contínuo (24 horas por dia), e um intermitente (2 horas por dia), conforme esquematizado na Figura 8.

**Figura 8 - Tratamentos realizados nos tomates cv. Paron**



**Fonte: Acervo pessoal (2012)**

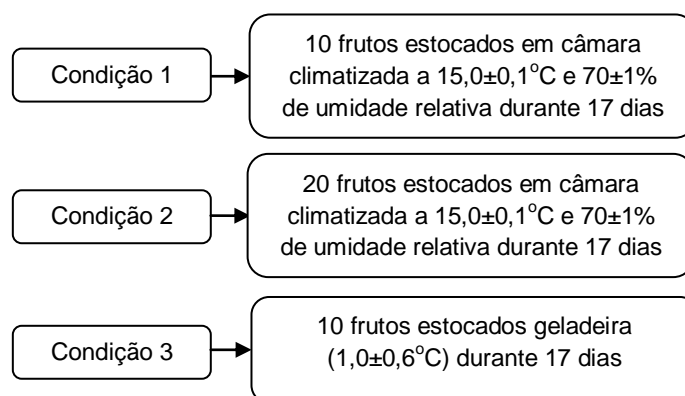
Os níveis de tensão e o tempo de aplicação para os tratamentos realizados nos tomates cv. Paron foram definidos a partir dos resultados obtidos nos ensaios anteriores e informações da literatura. Uma vez que os

melhores resultados para tomates cv. Andrea Victory foram obtidos em frutos tratados intermitentemente (2 horas por dia) com tensão aplicada de -1,6 kV/cm, definiu-se que os tratamentos nos tomates cv. Paron seriam realizados aplicando-se a tensão de -1,6 kV/cm e uma superior (-1,9 kV/cm), com armazenamento em condições ambientes.

Ainda, além dos tratamentos intermitentes, com aplicação de campos elétricos durante 2 horas por dia, conforme realizado nos ensaios preliminares, foram realizados tratamentos com aplicação contínua de campos elétricos (24 horas por dia), uma vez que na literatura há trabalhos que constataram que a aplicação de campos elétricos contínuos tem resultados positivos no aumento do tempo de prateleira de frutas e hortaliças de diferentes espécies, como maçã (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003), ameixa (ATUNGULU; ATUNGULU; NISHIYAMA, 2005a) e tomate (ATUNGULU et al., 2005b).

Por fim, foram realizados ensaios de armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada e geladeira doméstica convencional (Figura 9), sem a aplicação de campos elétricos.

**Figura 9 - Ensaios de armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada e geladeira**



**Fonte: Acervo pessoal (2012)**

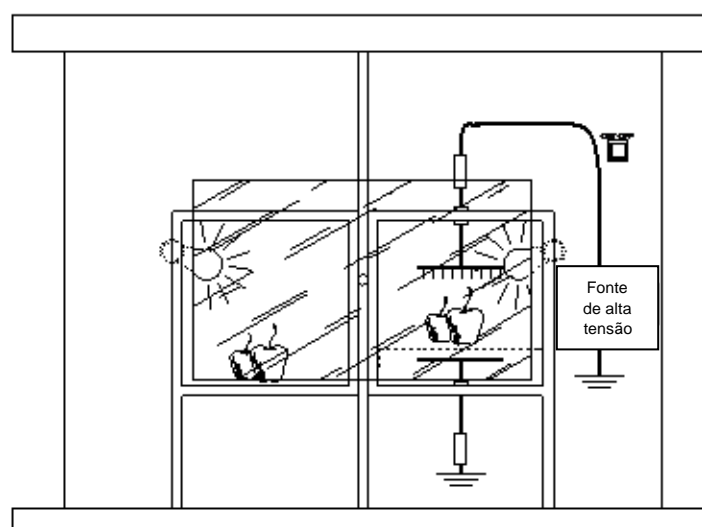
Os ensaios nas condições 1 e 2 foram realizados com a finalidade de se efetuar uma análise estatística e comparar os resultados obtidos para amostras de tamanhos diferentes. A determinação dos atributos de qualidade envolve um número expressivo de análises químicas, que consomem tempo e recursos financeiros. Pretendeu-se, com esta comparação, avaliar a quantidade mínima de frutos necessária para obter resultados estatisticamente significativos quanto às características indicativas de qualidade de tomates. O

ensaio 3 visou uma comparação entre os tratamentos em câmara climatizada e em geladeira doméstica.

### 3.1 Equipamentos e sistemas de medida

O sistema experimental utilizado foi desenvolvido tomando-se como modelo o sistema utilizado por Atungulu, Nishiyama e Koide (2004a), sendo constituído por uma câmara, dois eletrodos metálicos, um termopar e uma fonte de alta tensão, conforme ilustrado na Figura 10.

**Figura 10 - Sistema experimental construído para aplicar campos elétricos em frutas e hortaliças**



Fonte: Acervo pessoal (2012)

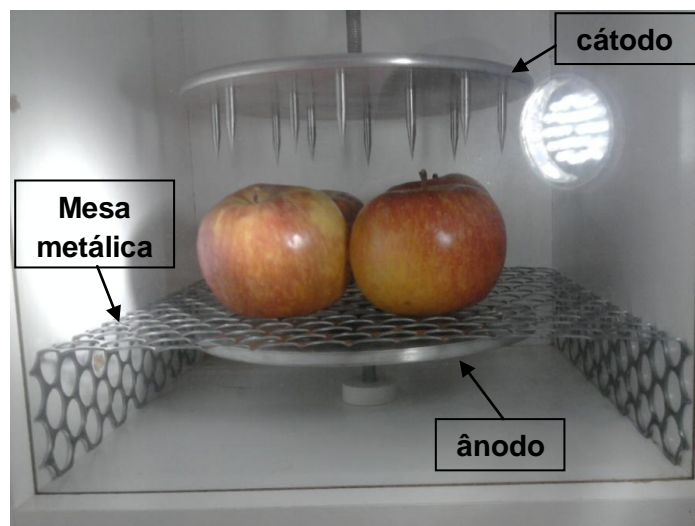
A câmara foi construída em madeira, com dimensões de 90 cm de largura, 70 cm de altura e 70 cm de profundidade, sendo que metade do seu volume foi destinado aos frutos de controle, ou seja, aqueles que não são submetidos ao tratamento com campos elétricos (lado esquerdo), e a outra metade foi destinada aos frutos tratados com campos elétricos (lado direito).

Um termopar tipo J foi inserido no interior da câmara de madeira, com a finalidade de monitorar a temperatura de estocagem dos frutos de tratamento e controle.

Para a geração dos campos elétricos negativos, foi utilizado um módulo EAT 22 6053-M da Exactus, o qual é composto por uma fonte de alta tensão para ensaios dielétricos em corrente contínua, com tensão de saída negativa variando entre 0 e 60 kV e corrente máxima de 2 mA.

Os frutos submetidos aos tratamentos foram alocados sob uma mesa metálica existente entre dois eletrodos de alumínio de polaridades opostas, e separados por uma distância fixa de 10 cm. Um disco de alumínio com 180 mm de diâmetro e 12 agulhas acopladas a ele e distribuídas equidistantemente pela sua circunferência foi utilizado como cátodo, e um disco de alumínio com 180 mm de diâmetro foi aterrado e utilizado como ânodo (Figura 11).

**Figura 11 - Câmara de tratamento de frutos com campos elétricos**



Fonte: Acervo pessoal (2012)

A configuração de placa-ponta dos eletrodos foi responsável pela geração da descarga corona no espaço intereletrodo durante os tratamentos. Os eletrodos foram inseridos na posição central da câmara, visando à máxima simetria, já que de acordo com Atungulu, Nishiyama e Koide (2004a), o campo elétrico gerado por descarga corona não é uniformemente distribuído no interior da câmara.

Uma vez que a intensidade da corrente elétrica no circuito depende da tensão aplicada, da configuração dos eletrodos, da distância entre ânodo e cátodo e, eventualmente, da presença de frutos e da distância entre eles e os eletrodos, foi utilizado um multímetro modelo ET-2053 da Minipa para medir a corrente elétrica no fio de aterramento do ânodo, a fim de determinar a intensidade da corrente elétrica no circuito durante a realização dos ensaios.

Ainda, uma câmara climatizada modelo TE-4001 da marca Tecnal, com precisão de 0,1°C e 1% nas medidas de temperatura e umidade relativa,

respectivamente, e uma geladeira doméstica convencional da marca Gelobrás foram utilizadas para a realização de ensaios de armazenamento refrigerado de tomates cv. Paron.

### **3.2 Metodologia experimental**

Ao chegarem ao Centro de Secagem da Universidade Federal de São Carlos, os frutos eram divididos e destinados ao tratamento com campos elétricos, ou aos ensaios de armazenamento em geladeira e câmara climatizada.

Os frutos destinados aos tratamentos com campos elétricos foram divididos em lotes de doze unidades, de modo que cada lote foi utilizado para um diferente tratamento. Os lotes foram divididos em três grupos contendo quatro frutos cada.

Inicialmente, foram feitas as análises de teor de sólidos solúveis e acidez total titulável dos frutos de um grupo de cada lote, a fim de realizar-se uma caracterização inicial dos frutos frescos. Assim, os valores iniciais de ATT e SST corresponderam a uma média de quatro medidas, sendo uma de cada fruto do grupo. Então, dos dois grupos restantes de cada lote, um foi submetido ao tratamento com campos elétricos e o outro foi utilizado como controle, sem sofrer nenhum tipo de tratamento.

Ao fim do período de estocagem, foram analisadas as propriedades físico-químicas dos frutos desses dois grupos, tal como perda de massa, firmeza da polpa, cor da epiderme, teor de sólidos solúveis e acidez total titulável, visando à comparação com os valores iniciais. Foram feitas três medidas de firmeza de polpa e cor da epiderme e uma medida das demais propriedades para cada fruto. Os resultados das análises de firmeza e cor corresponderam à média de doze medidas, e os resultados das demais análises à média de quatro medidas.

Para os tomates cv. Andrea Victory submetidos aos tratamentos com campos elétricos, o período de estocagem foi de 23 dias para os frutos armazenados em câmara climatizada ou geladeira, e 15 dias para os frutos mantidos em condições ambientes ( $T_{\text{média}} = 27,7 \pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), para os quais a

deterioração era mais rápida. Para os tomates cv. Paron, o período de estocagem foi de 15 dias para todos os frutos submetidos à aplicação de campos elétricos.

Para os tomates cv. Paron destinados ao armazenamento em geladeira e câmara climatizada, sem tratamento com campos elétricos, a metodologia seguida foi semelhante à dos frutos destinados aos tratamentos com campos elétricos, diferindo apenas o número de frutos dos lotes, que foram de 24 ou 44 frutos, divididos em um grupo de 4 frutos, utilizado na caracterização dos frutos frescos, e dois grupos de 10 ou 20 frutos, sendo um para controle e um para armazenamento em câmara climatizada ou geladeira. Ainda, a propriedade acidez total titulável não foi analisada para os frutos desses ensaios.

As temperaturas dos ambientes de estocagem dos frutos armazenados em geladeira e condições ambientes foram medidas três vezes durante o dia (manhã, meio do dia e fim da tarde), com a finalidade de registrar as variações de temperatura de estocagem dos frutos durante o dia. Para isso, foram utilizados um termômetro digital da marca Oakton (geladeira) e um termohigrômetro modelo 37950-00 da marca Cole-Parmer (condições ambientes).

### **3.2.1 Determinação da perda de massa**

Para a determinação da perda de massa dos frutos foi utilizada uma balança semi-analítica modelo AR3130 da linha Adventurer<sup>TM</sup> da marca Ohaus, com precisão de três casas decimais.

A massa dos frutos foi medida antes e depois do período de estocagem, sendo que a perda correspondeu à diferença entre a massa inicial e final de cada fruto.

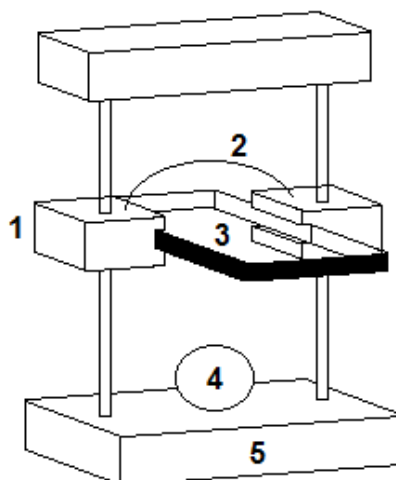
Os resultados foram expressos em porcentagem de massa perdida pelos frutos durante a estocagem.

### **3.2.2 Determinação da firmeza**

Foi utilizado um aplanador horizontal para determinar a firmeza dos frutos.

Primeiramente, o peso de prova (1) foi levantado pela alça (2) e uma fina camada de vaselina foi aplicada no vidro (3). O fruto (4) foi alocado entre o peso de prova e a base de madeira (5) e então, repousou-se o peso de prova sobre o fruto, tomando o cuidado de que o fruto entrasse em contato com o centro da placa de vidro (Figura 12).

**Figura 12 - Aplanador horizontal para medição de firmeza dos frutos**



Fonte: Acervo pessoal (2012)

Com um paquímetro digital, foram medidos os diâmetros maior e menor da elipse formada pelo contato entre o fruto e a placa de vidro. A firmeza ( $F_z$ ) foi obtida dividindo-se o peso da ponta de prova ( $P$ ) pela área aplanada ( $A$ ) e expressa em unidade de pressão.

### 3.2.3 Determinação da cor da epiderme

A determinação da cor da epiderme foi feita utilizando-se um colorímetro modelo CM-5 da marca Konica Minolta (Figura 13).

**Figura 13 - Espectrofotômetro da marca Konica Minolta, modelo CM – 5**



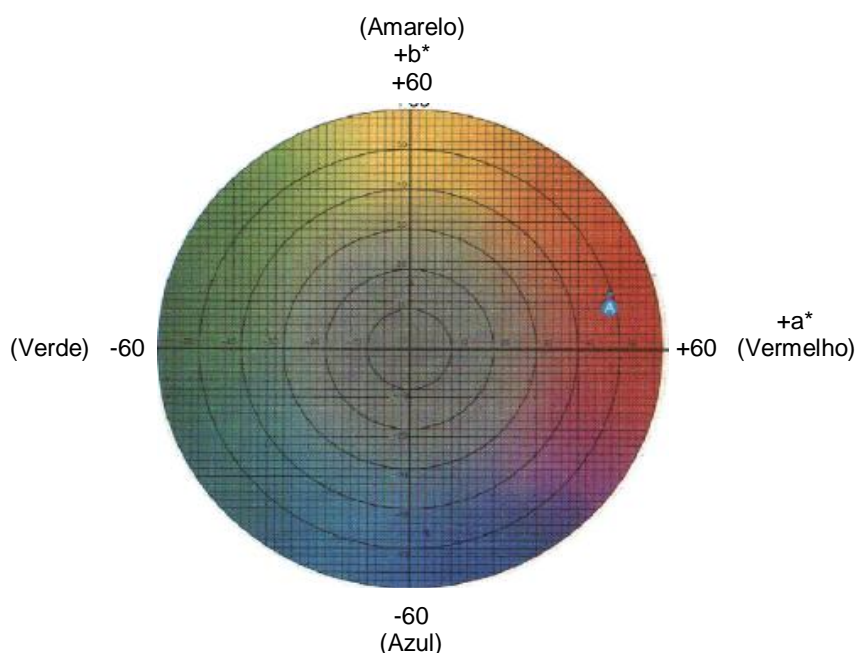
Fonte: CM-5 (2012)

Para cada fruto, foram feitas três medidas, sendo uma na região equatorial, e duas na região apical (uma no polo da inserção ao pedúnculo, e

uma no polo oposto a ele). Foi tomado o cuidado de, antes e depois do período de estocagem, realizar-se as medidas nos mesmos pontos dos frutos.

As leituras de cor da epiderme foram realizadas no sistema Cielab, o qual consiste em expressá-la em função de três parâmetros,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$ . Esses três parâmetros podem ser correlacionados a partir de eixos coordenados, conforme é apresentado na Figura 14.

**Figura 14 – Representação dos eixos  $a^*$  e  $b^*$**



**Fonte: SANTOS FILHA (2006)**

Os eixos  $a^*$  e  $b^*$  formam um ângulo reto, e representam a tonalidade da cor, sendo que  $a^*$  define a transição do verde ( $-a^*$ ) para o vermelho ( $+a^*$ ), e  $b^*$  define a transição do azul ( $-b^*$ ) para o amarelo ( $+b^*$ ). O parâmetro  $L^*$  é representado por um eixo perpendicular ao plano  $a^*b^*$ , e ele define a luminosidade da cor (SANTOS FILHA, 2006).

A coloração da epiderme dos frutos foi analisada pela diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ), a qual relaciona a sua cor inicial com a sua cor após um determinado período de estocagem, conforme é apresentado na equação 1 (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003).

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_{fin} - L_{ini})^2 + (a_{fin} - a_{ini})^2 + (b_{fin} - b_{ini})^2]} \quad (1)$$

Em que,  $L_{ini}$ ,  $a_{ini}$  e  $b_{ini}$  representam os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  antes do período de estocagem, e  $L_{fin}$ ,  $a_{fin}$  e  $b_{fin}$  corresponde aos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  após o período de estocagem.

### **3.2.4 Determinação da acidez total titulável**

Para a determinação da acidez total titulável, primeiramente, foi utilizada uma centrífuga doméstica da marca Walita (modelo Tutti-frutti) para extrair o suco da polpa do fruto.

Então, 10 mL do suco foi diluído com 100 mL de água destilada, e essa solução foi titulada com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 M, utilizando-se três gotas de fenolftaleína como indicador ácido-base.

A acidez total titulável foi expressa em porcentagem de ácido cítrico, uma vez que esse é o principal ácido orgânico presente em tomates.

### **3.2.5 Determinação do teor de sólidos solúveis**

O teor de sólidos solúveis dos frutos foi determinado utilizando-se um refratômetro digital modelo R<sup>2</sup>i300 da marca Reichert, e o suco extraído dos frutos com o auxílio de uma centrífuga doméstica da marca Walita.

Para cada fruto, algumas gotas do seu suco foram colocadas no prisma do refratômetro e, instantaneamente, o teor de sólidos solúveis foi obtido, na unidade °Brix.

### **3.2.6 Determinação do teor de licopeno**

O teor de licopeno dos tomates foi determinado pelo procedimento proposto por Rodriguez-Amaya (2001), o qual consiste na extração de carotenóides por acetona e armazenagem em éter de petróleo. A acetona possui um bom rendimento de extração, entretanto, ela degrada os carotenóides rapidamente. Por outro lado, apesar do éter de petróleo não possuir um rendimento de extração tão bom quanto ao da acetona, ele conserva os carotenóides por um maior tempo, sem degradá-los.

Em um grau, colocou-se cerca de 5 g de tomate, uma colher de sopa de celite, e 40 mL de acetona gelada. Com o auxílio de um pistilo, macerou-se a amostra para que o licopeno fosse extraído. Filtrou-se a mistura a vácuo,

utilizando um funil de vidro sinterizado acoplado a um kitassato. Lavou-se o grau, o funil e o resíduo com uma pequena quantidade de acetona, então, colocou-se o resíduo no grau, juntamente com um pouco de acetona gelada, e macerou-se novamente. Filtrou-se e lavou-se conforme anteriormente. Esse procedimento foi repetido até que o resíduo ficasse branco.

Em um funil de separação, colocou-se 30 mL de éter de petróleo, e adicionou-se uma pequena porção do extrato. Adicionou-se, lentamente, uma pequena quantidade de água destilada, deixando-a escorrer pelas paredes do funil. Esperou-se a formação de duas fases e descartou-se a fase inferior. Adicionou-se mais uma pequena porção do extrato no funil, e o procedimento foi repetido até que todo o extrato fosse transferido para o éter de petróleo. Então, a fase de éter foi lavada mais quatro vezes com água destilada, a fim de remover-se a acetona residual.

A fase de éter foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e seu volume foi completado com éter de petróleo. Em um espectrofotômetro modelo CM-5 da marca Konica Minolta, mediu-se a absorvância da solução no comprimento de onda de 470 nm.

O teor de licopeno foi calculado a partir da equação 2:

$$Li = \left| \frac{A.V.10^4}{A_{1cm}^{1\%}.M} \right| \quad (2)$$

Em que,

$Li$  é o teor de licopeno ( $\mu\text{g/g}$ )

$A$  é a absorvância da solução no comprimento de onda de 470 nm

$A_{1cm}^{1\%}$  é o coeficiente de absorção do licopeno em éter de petróleo, que é igual a 3450

$V$  é o volume final da solução de éter e carotenóides (mL)

$M$  é a massa da amostra (g)

Foram feitas análises de teor de licopeno para dois frutos (um de controle e um de tratamento) do tratamento 3 com tomates cv. Paron e para

dois frutos (um de controle e um de armazenamento) para a condição 2 de armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada.

### **3.3 Análises estatísticas**

Os resultados das propriedades físicas e químicas dos frutos da cv. Paron foram submetidos à análise de normalidade pelos testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, à análise de variância pelo teste F, e à comparação de médias pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro, utilizando o suplemento Action do Microsoft Office Excel 2007.

Os resultados do planejamento experimental foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o suplemento Action do Microsoft Office Excel 2007, para o estudo dos efeitos principais e de interação dos parâmetros tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos sobre as características indicativas de qualidade dos frutos.

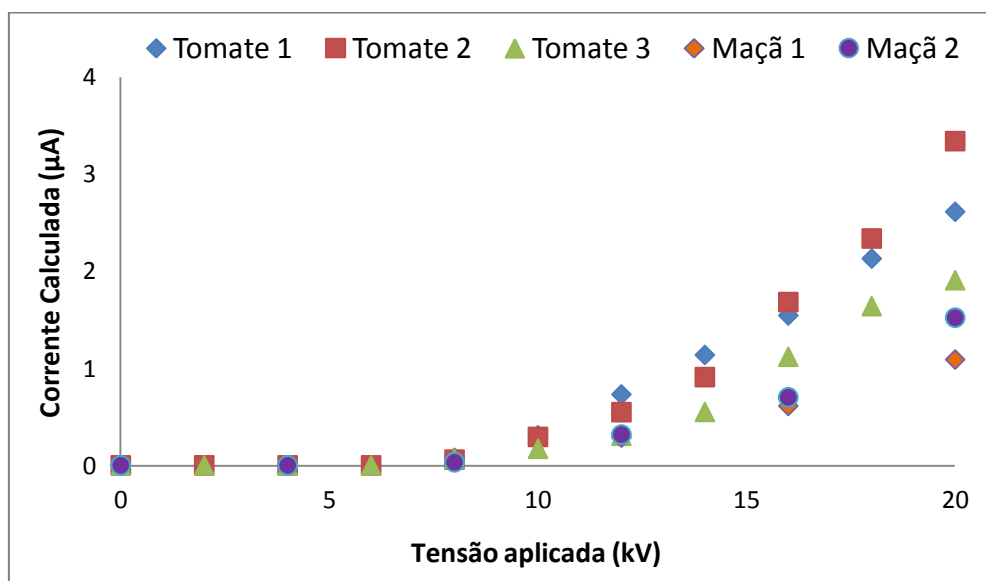
Ainda, foi utilizado o *software* Matlab para a construção de gráficos de superfícies de resposta a partir de modelos matemáticos estabelecidos pelas análises ANOVA, com a finalidade auxiliar a análise da influência dos parâmetros nas características indicativas de qualidade dos frutos.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, serão mostrados os dados obtidos nos ensaios em que determinou-se a corrente do sistema em função da tensão externa aplicada para diferentes tipos de frutos e número de pontas do cátodo, com a finalidade de avaliar o comportamento do sistema experimental, frente a dados de curvas de corrente-tensão existentes na literatura (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003).

Os ensaios com maçã foram feitos visando comparar os resultados com os relatados por Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) para eletrodos ponta-placa. Nos ensaios com maçã e tomate foi utilizado um fruto para a construção de cada curva de corrente corona em função da tensão aplicada, com eletrodos separados por uma distância fixa de 10 cm. Os resultados são apresentados na Figura 15.

**Figura 15 - Corrente calculada do sistema em função da tensão externa aplicada para maçã**



Para ambas as espécies foi observada uma tendência de aumento da corrente calculada com o aumento da tensão aplicada, com um aumento mais significativo da corrente a partir de 8 kV. Também é possível notar na Figura 15 que para as tensões mais altas há um distanciamento dos pontos das curvas dos diferentes frutos de uma mesma espécie e ainda que, para os tomates, esse distanciamento é bem mais acentuado do que para as maçãs.

Uma vez que os ensaios para tomates (tréplica) e maçãs (réplica) foram todos realizados em um mesmo dia, utilizando-se um período inferior a 1 hora, de modo que as condições operacionais pudessem ser consideradas semelhantes para os cinco ensaios realizados, a diferença observada entre diferentes frutos de uma mesma espécie indica que as intensidades de corrente no sistema nem sempre são reprodutíveis, principalmente para altas tensões.

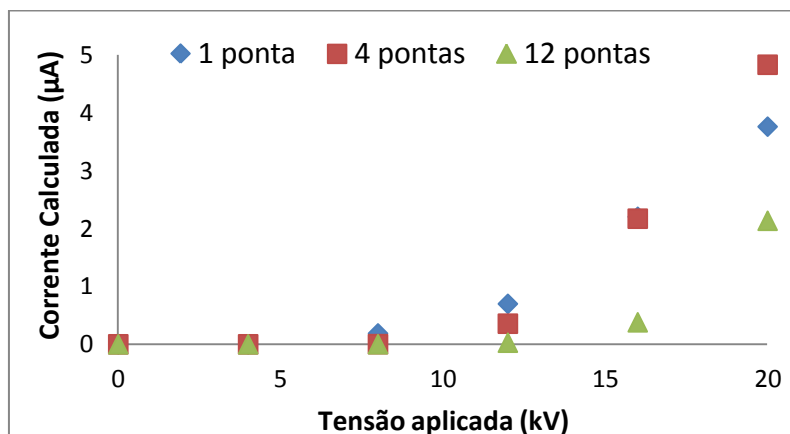
Além disso, a maior discrepância de comportamento observada para os frutos de tomate em relação aos de maçã pode ser explicada pelas estruturas físicas bastante distintas das duas espécies estudadas. Enquanto a maçã é um fruto rígido e homogêneo, o tomate é mole e heterogêneo e, portanto, um fruto sujeito a maiores variações na estrutura e composição. Estas características afetam o campo elétrico gerado e contribuem para uma pior reprodutibilidade dos dados nos ensaios realizados para determinação da corrente do sistema.

Ainda, embora as tendências observadas para as curvas estejam de acordo com a literatura, as intensidades das correntes calculadas foram bastante inferiores às relatadas na literatura para sistemas usados no tratamento de maçãs. Para intensidades de campos de 20 kV, Atungulu, Nishiyama e Koide (2003) relatam valores de corrente próximos de 80  $\mu\text{A}$  com o uso de eletrodos ponta-placa em sistemas com e sem amostra, mas não fornecem detalhes sobre como a corrente foi medida. Sabe-se que a intensidade do campo elétrico e da corrente gerada depende de muitos fatores, como a geometria e dimensões dos eletrodos, condições ambientes, tamanho, distribuição e número de frutos inseridos na câmara etc. Uma investigação mais detalhada precisaria ser feita para identificar as razões para a discrepância observada, o que fugia aos objetivos do presente trabalho. Contudo, os valores obtidos aqui são compatíveis com os relatados por pesquisadores que trabalham com sistemas de descarga corona (GONÇALVES, 1993).

Nos ensaios para avaliação do número de pontas do cátodo, os eletrodos foram separados por uma distância fixa de 10 cm e não havia frutos no espaço intereletrodo.

Os resultados obtidos dos ensaios utilizando diferentes números de pontas (1, 4 e 12) no cátodo são apresentados na Figura 16.

**Figura 16 - Corrente calculada do sistema em função da tensão externa aplicada para diferentes números de pontas do cátodo**



As curvas obtidas para 1, 4 e 12 pontas apresentaram uma tendência de aumento da corrente calculada do sistema com o aumento da tensão externa aplicada, o que está de acordo com a literatura.

Os dados mostraram que as maiores correntes foram obtidas para o eletrodo de 4 pontas, que seria, em princípio, uma configuração interessante para o estudo. Contudo, tendo em vista que as intensidades de correntes calculadas nem sempre são reproduzíveis, uma vez que são influenciadas por fatores não controlados como a temperatura e umidade relativa do ambiente, (COSTA, 2005; JOB, 1989) no presente trabalho optou-se por utilizar o eletrodo com 12 pontas, pois essa configuração é a mais próxima do eletrodo com 11 pontas utilizado por Atungulu, Nishiyama e Koide (2004a).

#### **4.1 Tratamentos de tomates com campos elétricos**

Foram realizados nove ensaios de tratamentos com campos elétricos em tomates cultivares Andrea Victory (etapa 1) e Paron (etapa 2), com armazenamento em câmara climatizada, geladeira doméstica e condições ambientes.

##### **4.1.1 Etapa 1**

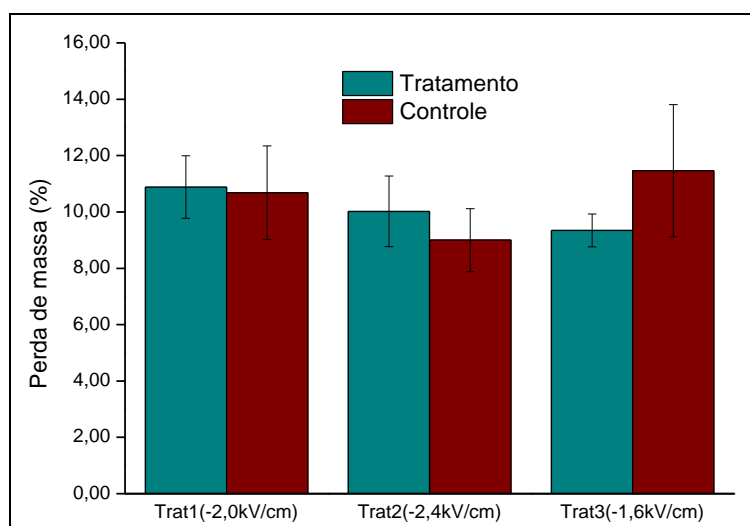
Foram realizados cinco tratamentos diferentes em tomates cv. Andrea Victory, sendo três com armazenamento em câmara climatizada, com tensão externa aplicada de -2,0; -2,4 e -1,6 kV/cm, correspondendo aos tratamentos 1,

2 e 3, respectivamente, um com armazenamento em condições ambientes e aplicação de tensão externa de -2,0 kV/cm (tratamento 4) e, por fim, um com armazenamento em geladeira e tensão externa aplicada de -2,0 kV/cm (tratamento 5).

#### 4.1.1.1 Armazenamento em câmara climatizada

A Figura 17 ilustra os resultados obtidos para perda de massa percentual dos tratamentos 1, 2 e 3 realizados em tomates cv. Andrea Victory (Figura 7). As barras verticais representam os desvios-padrões estimados para cada medida, a coluna tratamento representa os frutos submetidos ao tratamento com campos elétricos e a coluna controle representa os frutos que não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento.

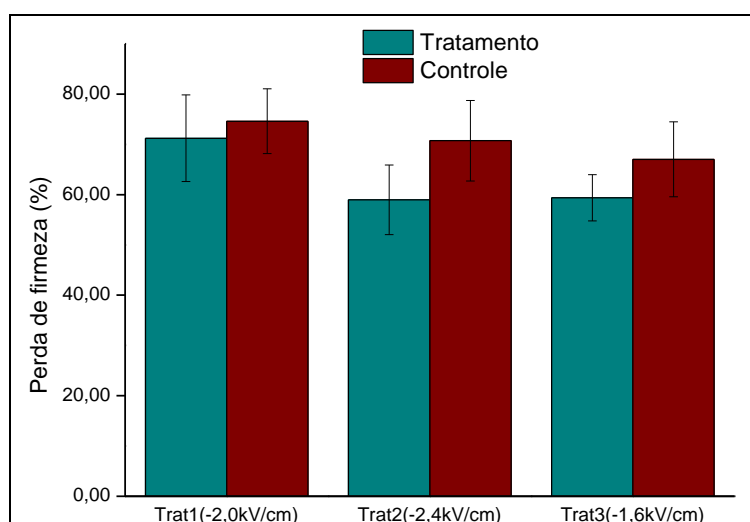
**Figura 17 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa)**



No tratamento 1, praticamente não houve diferença entre a perda de massa de frutos tratados e de controle, no tratamento 2, os frutos tratados apresentaram uma perda de massa ligeiramente superior (cerca de 1%) aos de controle, e no tratamento 3, os frutos tratados apresentaram uma perda de massa inferior aos de controle, com uma diferença de cerca de 2% entre os frutos dos dois grupos. Além das diferenças observadas serem pequenas (iguais ou inferiores a 2%), as dispersões dos dados em relação às médias foram altas para os três casos estudados, não sendo possível afirmar que houve um efeito positivo dos tratamentos na redução da perda de massa.

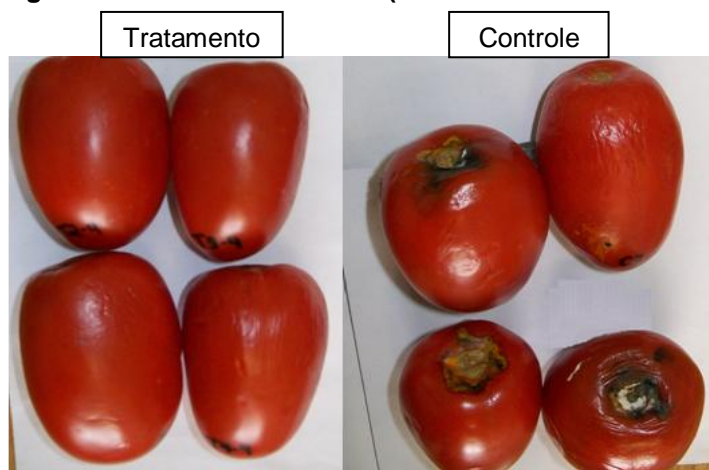
No que se refere à perda de firmeza percentual, mostrada na Figura 18, observa-se que nos três tratamentos ela foi maior para os frutos de controle, com diferenças entre frutos tratados e de controle que chegaram a 11,8 e 7,7 pontos percentuais nos tratamentos 2 e 3, respectivamente. Embora tenha sido observada uma tendência consistente de redução na perda de firmeza de frutos tratados e, para os tratamentos 2 e 3 a diferença entre frutos tratados e de controle seja expressiva, considerando-se as dispersões dos dados em relação às médias para os três casos estudados, não é possível afirmar que houve um efeito positivo estatisticamente significativo dos tratamentos na redução da perda de firmeza dos frutos.

**Figura 18 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa)**



Na Figura 19 são apresentadas fotos comparativas dos frutos do tratamento 3 após 23 dias de estocagem, que ilustram o comportamento também observado no tratamento 2.

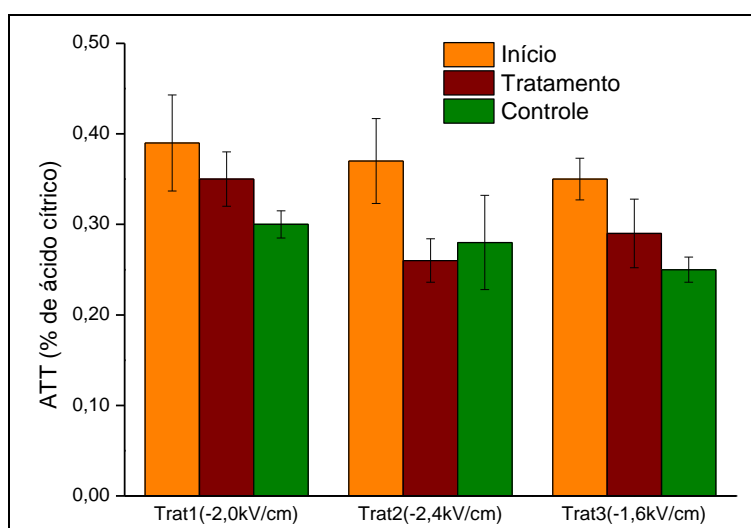
**Figura 19 - Tomates cv. Andrea Victory do tratamento 3 após 23 dias de estocagem em câmara climatizada (à 15°C e 70% de umidade relativa)**



Nas fotos é possível notar que os tomates tratados apresentaram epidermes com melhor aparência (epidermes menos murchas), enquanto que os tomates de controle apresentaram partes com coloração preta e branca na região da inserção do pedúnculo, o que é um indicativo de podridão. Essa é uma evidência de que o tratamento com campos elétricos contribuiu para reduzir a deterioração dos frutos pós-armazenamento.

Os resultados de acidez total titulável (ATT) dos tomates cv. Andrea Victory submetidos aos tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados na Figura 20.

**Figura 20 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa)**

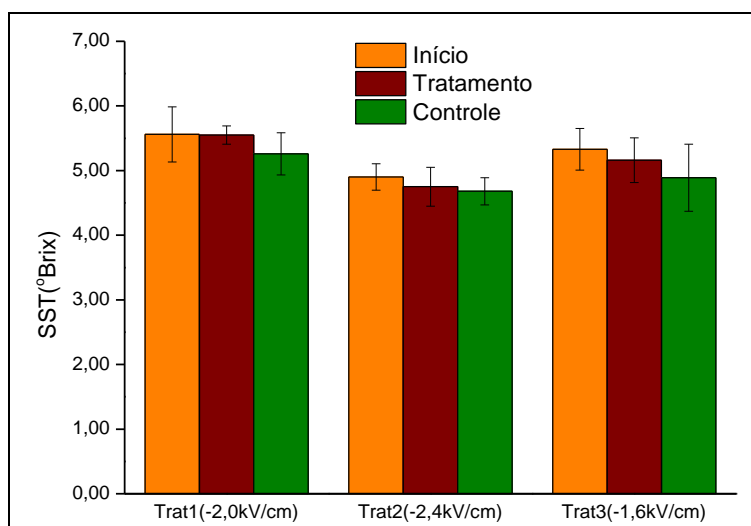


Nos três casos estudados, foi observada uma tendência de queda da ATT em relação aos valores iniciais, o que está de acordo com o esperado, uma vez que a ATT dos frutos geralmente diminui com o amadurecimento (CAVALINI, 2004; FONTES, 2005).

Quando comparada a ATT dos frutos tratados e de controle, para os três casos estudados, as diferenças foram pequenas (iguais ou inferiores a 0,05% de ácido cítrico) e inferiores às incertezas das medidas. Assim, embora nos tratamentos 1 e 3 a ATT dos frutos de controle tenha sido ligeiramente menor que a dos frutos tratados, o que indicaria frutos de controle mais maduros, não se pode afirmar que estas diferenças sejam devido a um efeito positivo dos tratamentos sobre os frutos.

Assim como para a acidez total titulável (ATT), o teor de sólidos solúveis (SST) apresentou uma tendência de queda em relação aos valores iniciais (Figura 21).

**Figura 21 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa)**

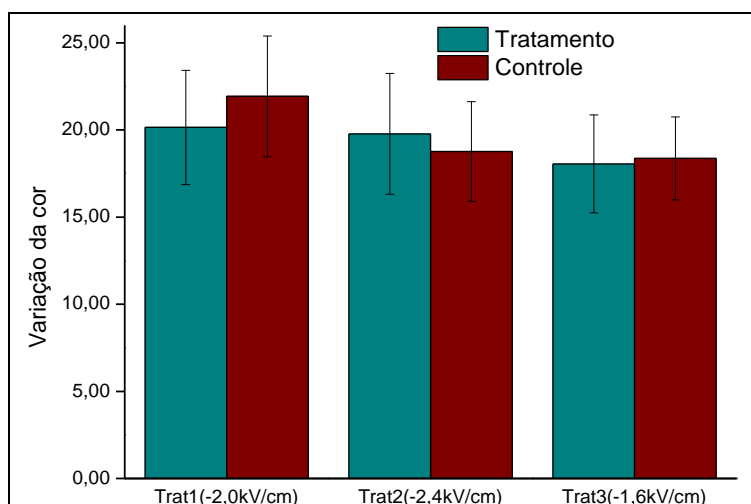


Para os três tratamentos o SST de frutos tratados manteve-se mais próximo dos valores iniciais, entretanto, uma vez que as diferenças entre o SST de frutos tratados e de controle foram pequenas (inferiores a 0,2 °Brix) e inferiores às incertezas das medidas, não é possível afirmar que houve uma diferença entre o grau de maturação dos frutos dos dois grupos após o período de estocagem e, conseqüentemente, que houve um efeito positivo do tratamento no SST dos tomates.

A pequena variação do SST observada ao longo do período de estocagem pode estar relacionada à respiração dos frutos. A perda de matéria fresca pelos frutos, que normalmente faz com que o teor de sólidos solúveis aumente, pode ter contrabalanceado as perdas de carboidratos no processo respiratório, ocasionando, então, pequenas variações no SST (ANTONIOLLI et al., 2000).

Os resultados obtidos para a variação da cor da epiderme dos tomates cv. Andrea Victory submetidos aos tratamentos 1, 2 e 3 são apresentados na Figura 22.

**Figura 22 - Variação da cor média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory dos tratamentos 1, 2 e 3 após 23 dias de estocagem (à 15°C e 70% de umidade relativa)**

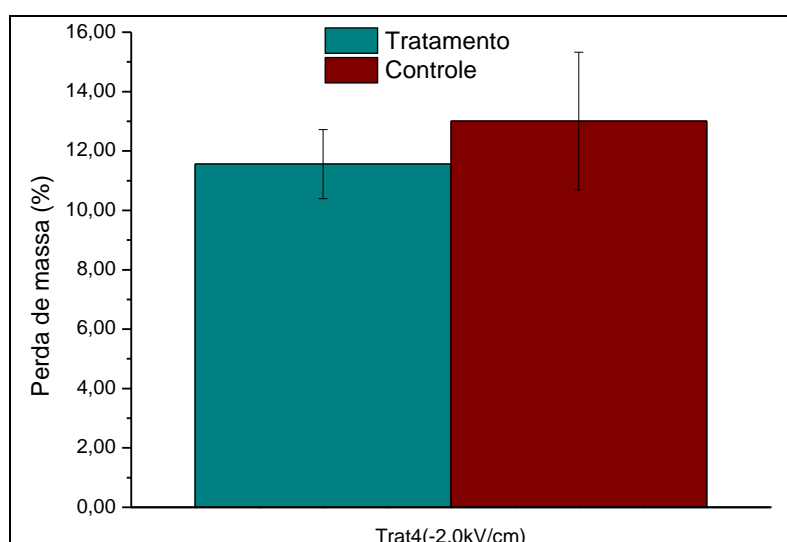


Para os três casos estudados foi observada uma diferença pequena entre a variação da cor da epiderme de frutos tratados e de controle, o que não permite afirmar que os tratamentos influenciaram essa característica dos frutos.

#### 4.1.1.2 Armazenamento em condições ambientes

Na Figura 23 são apresentados os resultados obtidos para perda de massa no tratamento em que tomates cv. Andrea Victory foram submetidos à aplicação de tensão de -2,0 kV/cm e estocados em condições ambientes.

**Figura 23 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C)**

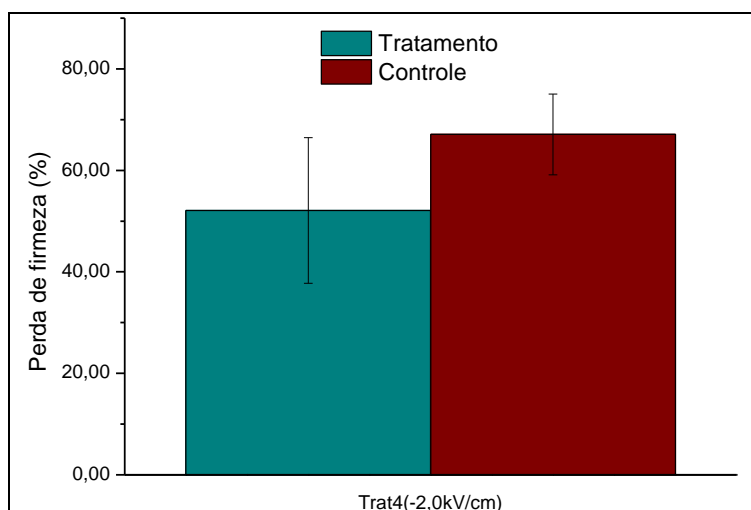


Foi observada uma diferença superior a 1 ponto percentual entre a perda de massa de frutos tratados (11,6%) e de controle (13,0%), com valor

maior para os frutos de controle, mas essa diferença é inferior às incertezas das medidas.

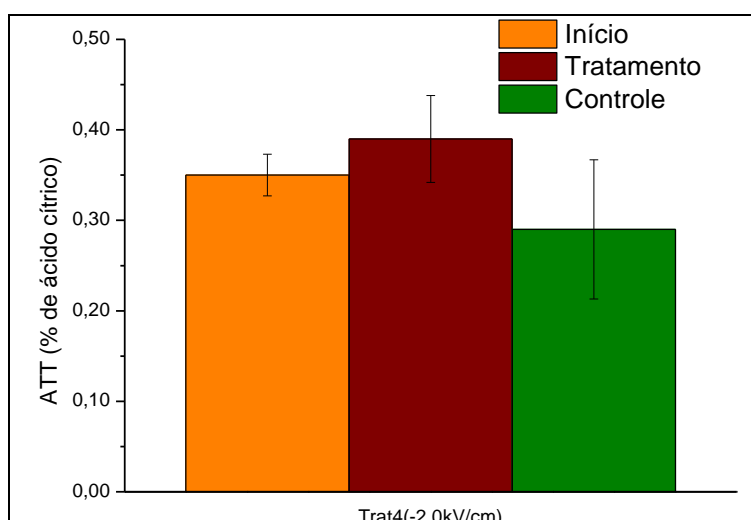
A perda de firmeza foi maior para frutos de controle (Figura 24), com uma diferença de 14,9 pontos percentuais entre frutos tratados e de controle. Embora os resultados indiquem uma tendência de diminuição da perda de firmeza de frutos tratados, com uma diferença expressiva entre frutos tratados e de controle, considerando as dispersões dos dados em relação às médias não é possível afirmar que houve um efeito positivo dos tratamentos na redução da perda de firmeza dos tomates.

**Figura 24 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C)**



Os resultados da acidez total titulável (ATT) para os tomates cv. Andrea Victory são apresentados na Figura 25.

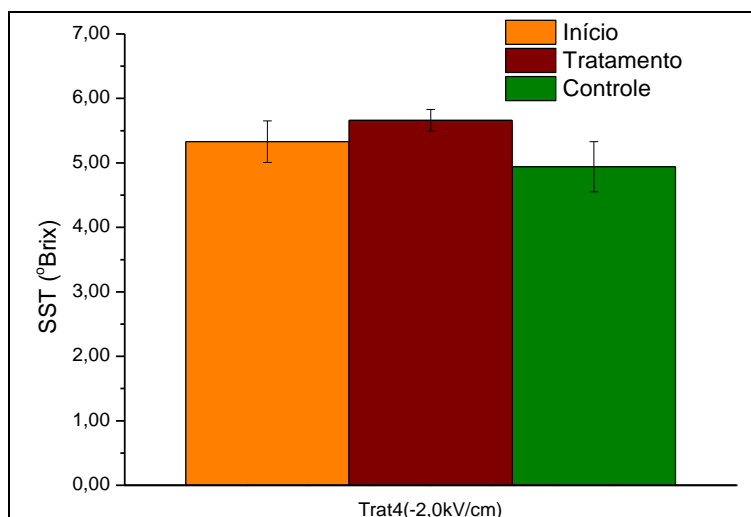
**Figura 25 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C)**



Ainda que tenha sido observada uma diferença entre a ATT de frutos tratados (0,39%) e de controle (0,29%), ela foi inferior à dispersão das medidas, e as variações, em termos percentuais, em relação ao valor inicial (0,35%), foram próximas para ambos os grupos.

Para o SST, o comportamento observado é apresentado na Figura 26.

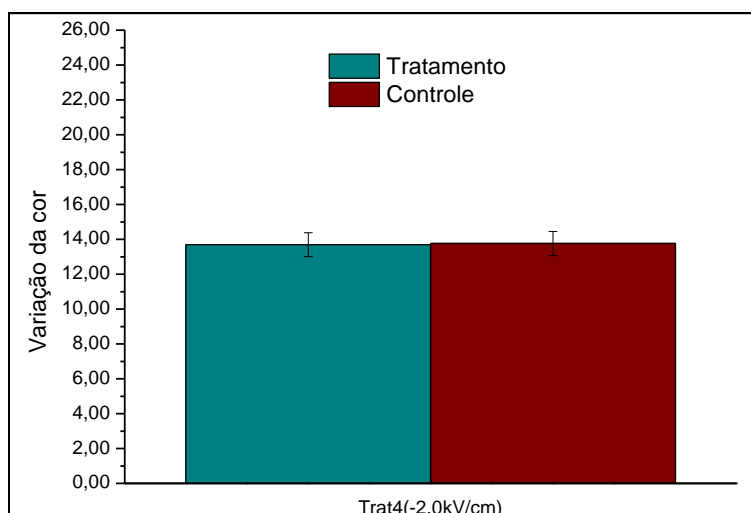
**Figura 26 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C)**



O SST obtido para frutos tratados (5,7 °Brix) foi maior que para frutos de controle (4,9 °Brix), entretanto, a variação em relação ao valor inicial (5,3 °Brix) foi equivalente para ambos os grupos, não sendo possível afirmar que o tratamento influenciou essa propriedade dos frutos.

Os resultados da variação da cor obtidos para os tomates cv. Andrea Victory armazenados em condições ambientes são apresentados na Figura 27.

**Figura 27 - Variação da cor médias e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 15 dias de estocagem em condições ambientes (à 27,7 °C)**

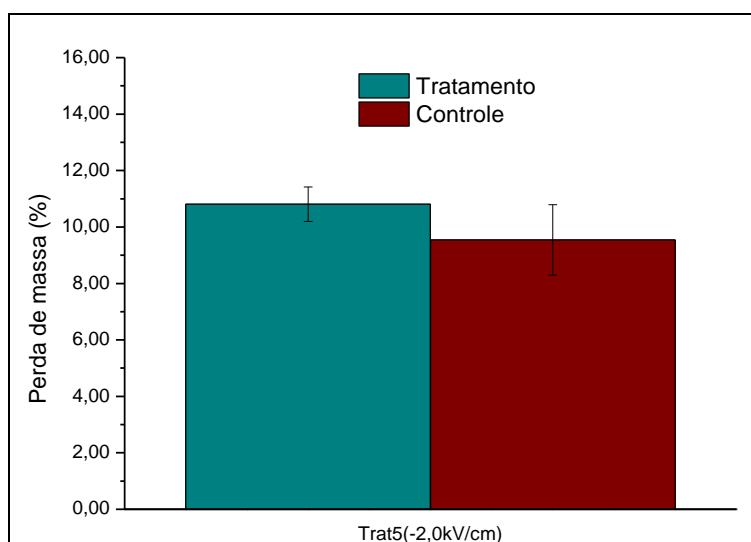


A variação da cor da epiderme foi equivalente para frutos tratados (13,69) e frutos de controle (13,76), o que permite afirmar que o tratamento não influenciou essa característica dos frutos.

#### 4.1.1.3 Armazenamento em geladeira

Os resultados obtidos para perda de massa percentual no tratamento em que os tomates cv. Andrea Victory foram submetidos à aplicação de tensão externa de -2,0 kV/cm e estocados em geladeira são apresentados na Figura 28.

**Figura 28 - Perda de massa percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C)**

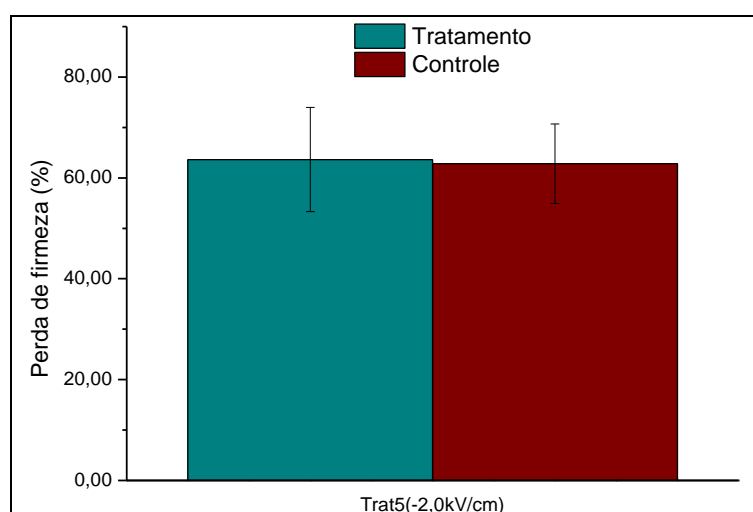


A diferença entre a perda de massa dos frutos tratados e dos de controle foi de aproximadamente 1 ponto percentual e inferior às incertezas das medidas.

A partir da análise dos resultados de perda de firmeza percentual apresentados na Figura 29, observa-se que a perda de firmeza de frutos tratados (63,6%) foi equivalente à de frutos de controle (62,8%) e que as dispersões dos dados em relação às médias foram elevadas.

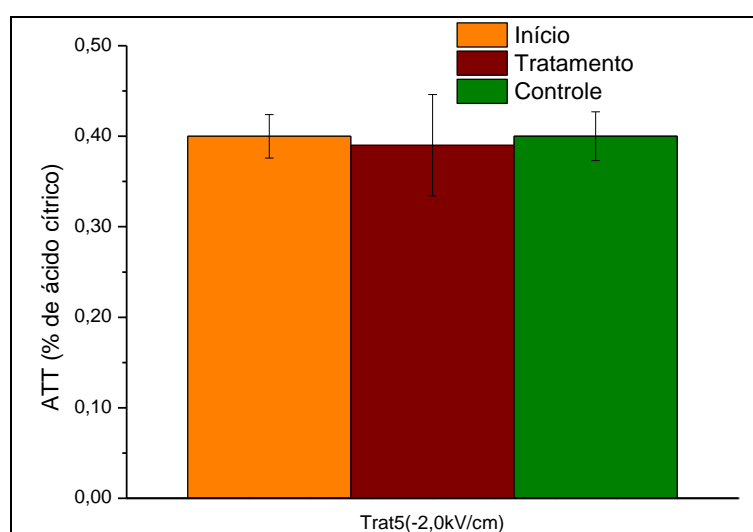
Sendo assim, não é possível afirmar que o tratamento com campo elétrico seguido pelo armazenamento em geladeira tenha contribuído para reduzir a perda de massa ou a perda de firmeza dos frutos.

**Figura 29 - Perda de firmeza percentual média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C)**



Os resultados obtidos para acidez total titulável (ATT) dos tomates cv. Andrea Victory armazenados em geladeira são apresentados na Figura 30.

**Figura 30 - Variação da ATT média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C)**

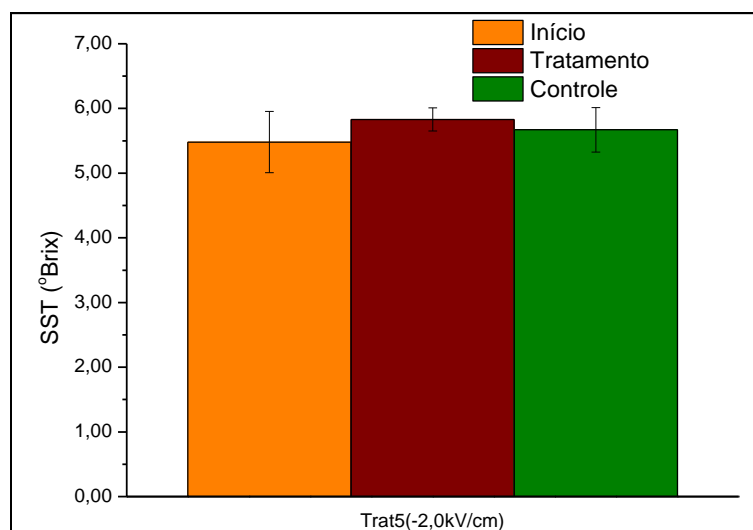


Os índices obtidos para frutos tratados (0,39%) e de controle (0,40%) foram equivalentes ao obtido para os da caracterização inicial (0,40%). Uma vez que houve pouca ou nenhuma alteração da ATT dos frutos dos dois grupos em relação à inicial, pela análise dessa propriedade, não é possível identificar uma diferença entre a maturação dos frutos dos dois grupos após a estocagem e, então, o tratamento realizado não influenciou essa característica dos frutos.

Quanto ao teor de sólidos solúveis (SST), conforme pode ser visto na Figura 31, foi observada uma tendência de aumento em relação ao valor inicial,

o que está de acordo com o esperado, uma vez que durante o amadurecimento o SST geralmente aumenta, devido à biossíntese, à degradação de polissacarídeos e à perda de água pelo fruto (CAVALINI, 2004).

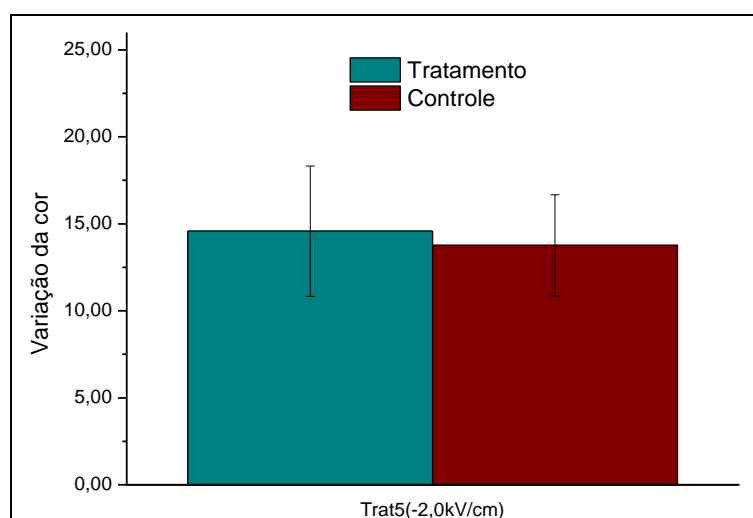
**Figura 31 - Variação do SST médio e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C)**



Após os 23 dias de estocagem, o valor do SST dos frutos de tratamento (5,8 °Brix) e de controle (5,7 °Brix) foram equivalentes e variaram pouco em relação ao valor inicial (5,5 °Brix), não sendo possível afirmar que o tratamento influenciou essa propriedade dos tomates.

Os resultados da variação da cor da epiderme de tomates cv. Andrea Victory armazenados em geladeira são apresentados na Figura 32.

**Figura 32 - Variação da cor média e desvio-padrão de tomates cv. Andrea Victory após 23 dias de estocagem em geladeira (à 4,6 °C)**



A diferença entre a variação da cor de frutos tratados e de controle foi pequena (inferior a 1 unidade) e inferior às incertezas das medidas. Sendo assim, não é possível afirmar que o tratamento com campo elétrico seguido do armazenamento em geladeira influenciou essa propriedade dos tomates.

Entre as condições avaliadas, o tratamento 3, em que os frutos foram armazenados em câmara climatizada e receberam aplicação de tensão de -1,6 kV/cm durante 10 dias, e o tratamento 4, em que os frutos foram armazenados em condições ambientes e receberam aplicação de tensão de -2,0 kV/cm durante 10 dias apresentaram evidências de melhora em alguns índices analisados, e, ainda, no tratamento 3, foi observado um controle significativo do apodrecimento em frutos tratados.

No tratamento 4, a melhora mais significativa foi observada no índice de perda de firmeza, uma vez que para essa propriedade, foi obtido um valor maior para frutos de controle em relação aos frutos de tratamento, o que indica frutos tratados mais firmes e, portanto, com maior aceitação pelo mercado consumidor (GÓMEZ, 2005). Esse resultado está de acordo com os obtidos por Wang, Wang e Li (2008) que observaram que tomates cv. Chaoyan-219 tratados intermitentemente (2 horas por dia) com tensão de -2,0 kV/cm apresentavam melhora significativa na firmeza da polpa após 20 dias de estocagem dos frutos.

Por outro lado, o tratamento 5, em que os frutos foram armazenados em geladeira e receberam aplicação de tensão de -2,0 kV/cm durante 10 dias apresentou os piores índices de qualidade. O tomate é um fruto que sofre injúrias pelo frio, e o armazenamento em baixas temperaturas, como a geladeira a  $4,6 \pm 0,8$  °C, não é uma condição adequada para a manutenção da sua qualidade (WANG; WANG; LI, 2008).

Observou-se ainda que as medidas indicativas de qualidade apresentaram dispersão significativa. Isto é esperado quando se trabalha com materiais biológicos como frutas e hortaliças, já que a composição de um fruto pode variar em função de variáveis como tipo de solo, intensidade de radiação solar, posição na planta, estágio de maturação etc. Assim, é impossível garantir amostras iniciais idênticas, o que é um fator complicador nas análises.

#### 4.1.2 Etapa 2

Dentre os tratamentos avaliados na etapa 1, o tratamento seguido de armazenamento em câmara climatizada (tratamento 3) e o tratamento seguido de armazenamento em condições ambientes (tratamento 4) foram os que apresentaram mais evidências de que o tratamento com campo elétrico influenciou alguns atributos de qualidade associados à deterioração dos frutos, embora os resultados nem sempre tenham sido conclusivos ao se considerar as incertezas experimentais das medidas.

Sendo assim, tomando como base os resultados obtidos na primeira etapa, optou-se por efetuar um planejamento experimental dos tratamentos da segunda etapa e realizar ensaios com armazenamento em condições ambientes, variando-se, em dois níveis, a tensão externa aplicada e o tempo de aplicação dos campos elétricos. Nesta etapa, foi efetuada também uma análise estatística usando o teste t de Student para avaliar se as diferenças observadas nas características indicativas de qualidade dos frutos eram estatisticamente significativas.

As tensões externas utilizadas foram de -1,9 kV/cm (com base no tratamento 4 na primeira etapa), para os tratamentos 3 e 4, e -1,6 kV/cm (com base no tratamento 3 da primeira etapa), para os tratamentos 1 e 2. Embora no tratamento com tomates cv. Andrea Victory tenha sido utilizada uma tensão externa de -2,0 kV/cm, o sistema experimental apresentou-se instável ao se aplicar essa mesma tensão em tomates cv. Paron, então, optou-se por reduzir o nível superior de tensão aplicada para -1,9 kV/cm, no qual o sistema apresentou-se estável.

Quanto aos níveis de tempo de aplicação, para tomates cv. Paron, foi utilizado o intermitente (2 horas por dia) para os tratamentos 1 e 3, tomando como base a primeira de etapa de ensaios e, nos tratamentos 2 e 4, foi usado o contínuo (24 horas por dia), uma vez que Atungulu et al. (2005b) utilizaram tratamentos contínuos em tomates cv. Chika.

Nos ensaios realizados com os tomates cv. Paron, foi analisada a influência dos tratamentos com campos elétricos no apodrecimento e nas características indicativas de qualidade dos frutos, como perda de massa,

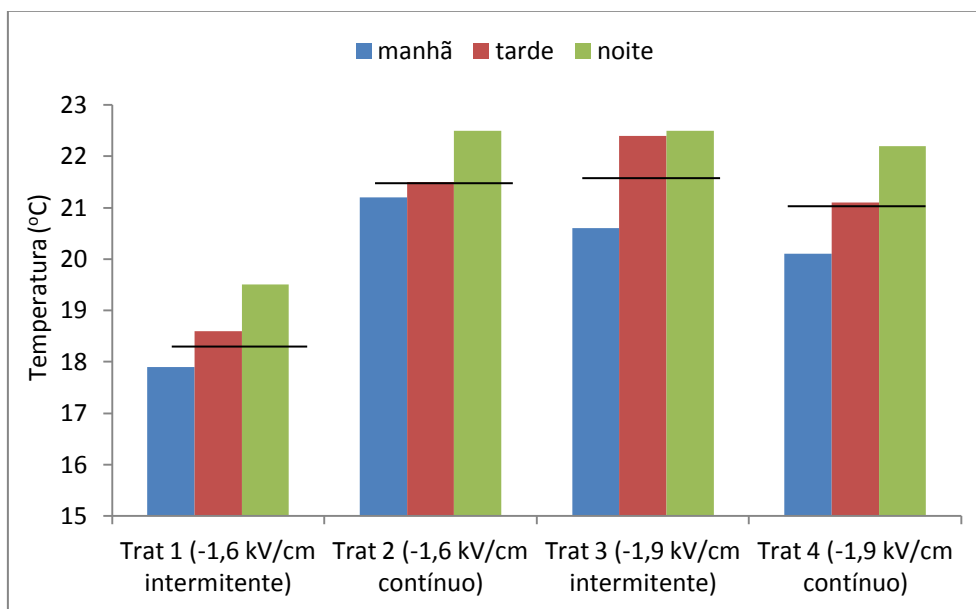
firmeza, variação da cor da epiderme, teor de sólidos solúveis e acidez total titulável.

Uma vez que não se sabe a influência de cada parâmetro de processo na eficácia dos tratamentos, foi aplicada uma análise de variância estatística do planejamento experimental, a fim de obter informações quanto à influência dos parâmetros tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos nas características indicativas de qualidade dos frutos.

#### 4.1.2.1 Influência dos tratamentos nas características indicativas de qualidade e apodrecimento de tomates cv. Paron

A temperatura do ambiente de estocagem dos frutos foi monitorada durante os 15 dias de armazenamento. Foram realizadas três medidas por dia, uma de manhã (aproximadamente às 10 horas), uma no início da tarde (aproximadamente às 13 horas) e uma no início da noite (aproximadamente às 17 horas). As médias das temperaturas de cada período (colunas) e as médias diárias (linhas horizontais) no período de estocagem são apresentadas na Figura 33.

Figura 33 - Variação da temperatura ambiente durante o dia para os tratamentos 1 a 4

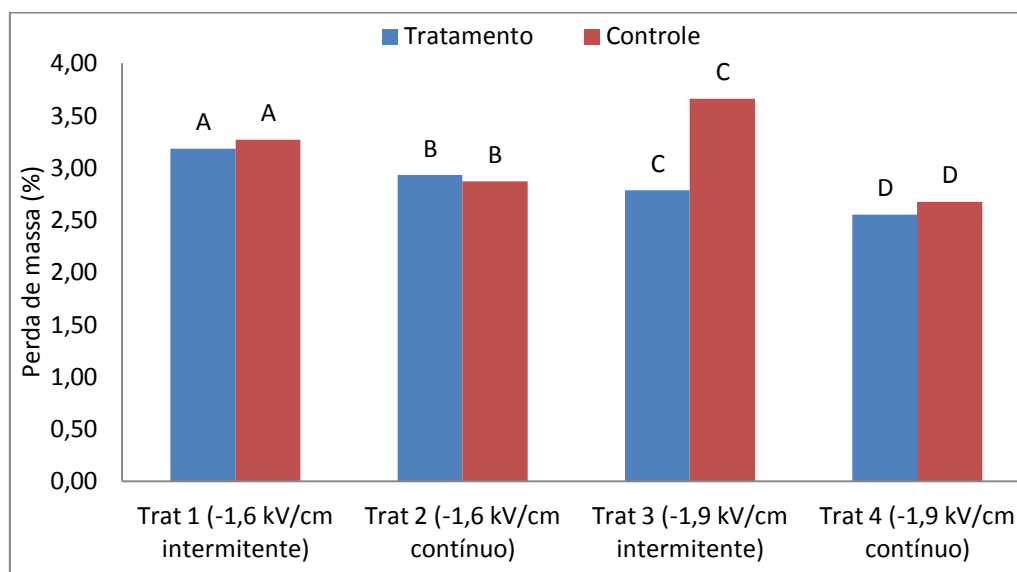


Os valores médios da temperatura para cada tratamento foram  $18,6 \pm 1,0$  °C (tratamento 1),  $21,7 \pm 1,2$  °C (tratamento 2);  $21,8 \pm 3,5$  °C (tratamento 3) e  $21,2 \pm 0,9$  °C (tratamento 4). Para o tratamento 1, as temperaturas médias observadas durante o dia foram ligeiramente inferiores (cerca de 3 °C) às

observadas para os demais tratamentos, mas em geral as diferenças entre os valores médios máximos e mínimos em cada tratamento foram inferiores a 2,5 °C, indicando que a temperatura ambiente variou pouco durante os ensaios.

Na Figura 34 são apresentados os resultados obtidos para perda de massa percentual nos tratamentos realizados em tomates cv. Paron.

**Figura 34 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4)**

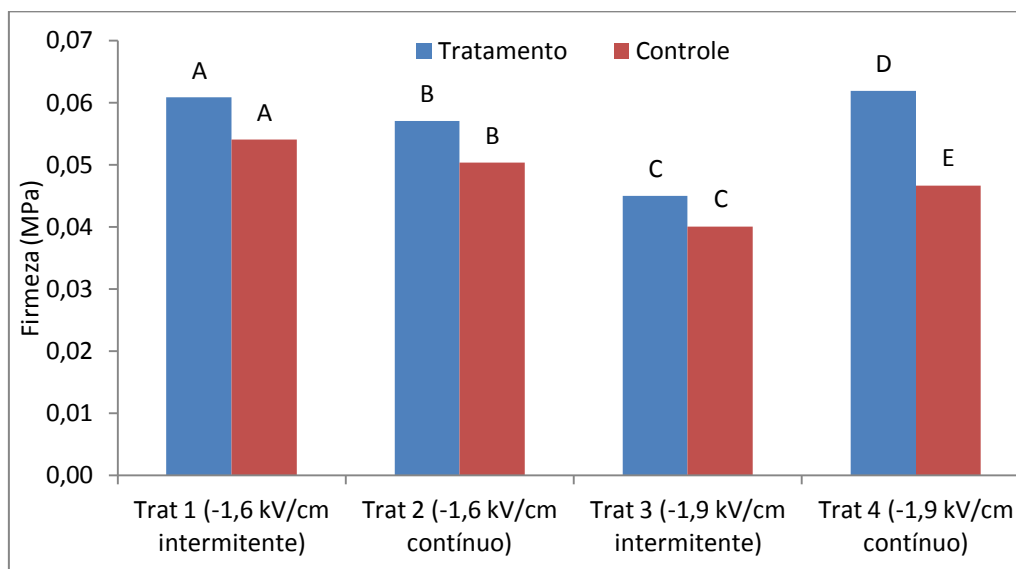


**Nota: Para cada tratamento, valores de tratamento e controle com mesma letra, não diferem entre si pelo teste de t-Student a 5% de probabilidade**

Com exceção do tratamento 2, a perda de massa percentual foi menor para frutos tratados. Embora no tratamento 3 tenha sido observada uma variação de aproximadamente 1 ponto percentual entre frutos tratados e de controle, em todos os tratamentos essa variação foi pequena e estatisticamente não significativa. Tendo em vista os resultados obtidos, é possível afirmar que os tratamentos não influenciaram essa propriedade dos frutos.

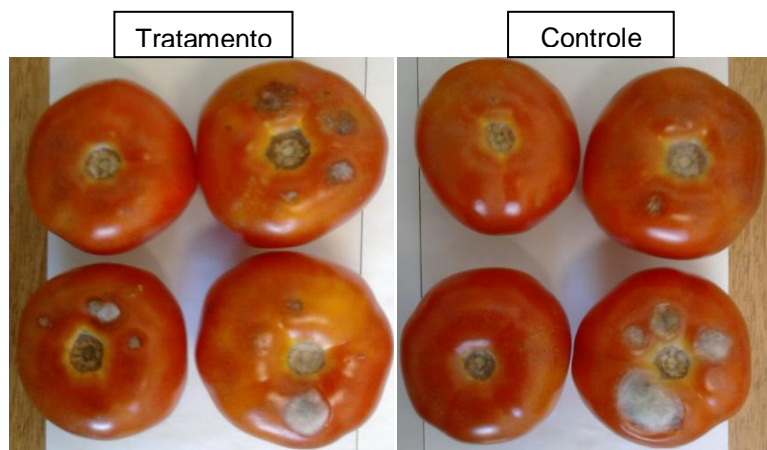
Quanto à firmeza dos frutos após 15 dias de estocagem (Figura 35), em todos os tratamentos ela foi maior para frutos tratados. Nos tratamentos 1, 2 e 3 a diferença de firmeza entre frutos tratados e de controle foi pequena. No tratamento 4, essa diferença foi maior, de aproximadamente 0,015 MPa, e estatisticamente significativa. Sendo assim, pode-se afirmar que apenas no tratamento 4 o uso de campos elétricos foi eficaz na manutenção da firmeza dos frutos.

**Figura 35 - Firmeza de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4)**

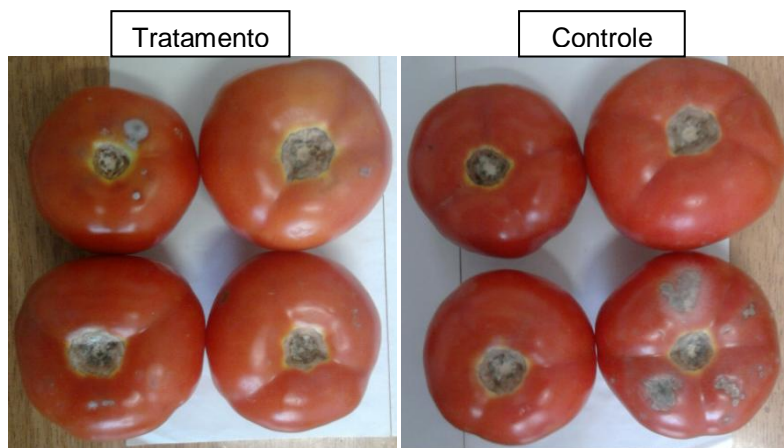


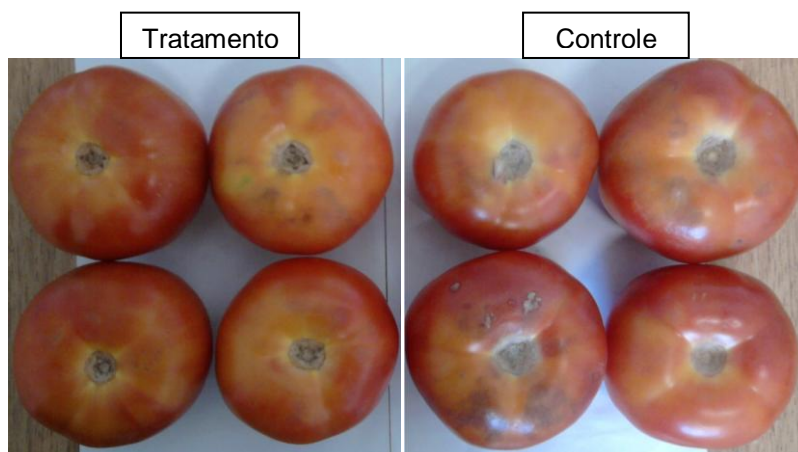
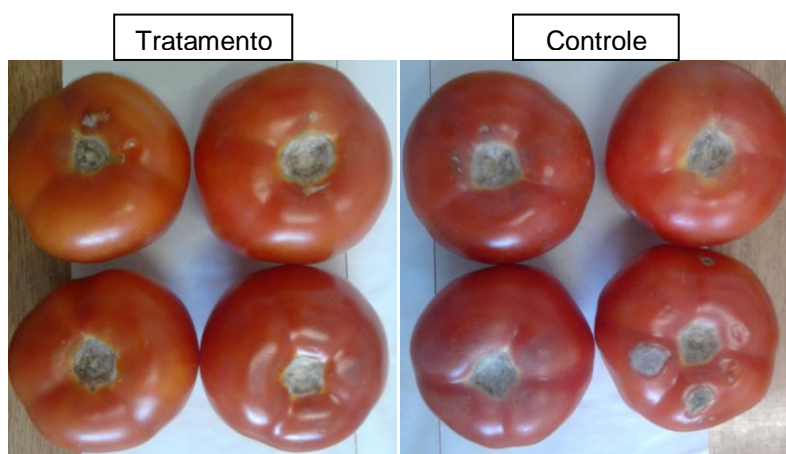
Nas Figuras 36 a 39 são apresentadas fotos comparativas dos tomates cv. Paron dos tratamentos 1 a 4, respectivamente, após 15 dias de estocagem.

**Figura 36 - Tomates do tratamento 1 após 15 dias de estocagem**



**Figura 37 - Tomates do tratamento 2 após 15 dias de estocagem**



**Figura 38 - Tomates do tratamento 3 após 15 dias de estocagem****Figura 39 - Tomates do tratamento 4 após 15 dias de estocagem**

Pelas fotos, é possível observar que, para os tratamentos 2 e 4, os frutos tratados com campos elétricos apresentam epidermes com melhor aparência em relação aos frutos de controle, os quais apresentam maiores regiões com coloração branca e acinzentada, o que é um indicativo de maior grau de apodrecimento. No tratamento 3, os frutos de controle apresentaram um indício de início de apodrecimento na inserção do pedúnculo, uma vez que é possível notar uma coloração esbranquiçada nessa região dos frutos. Já nos frutos de tratamento, isso não foi observado.

Sendo assim, pela análise visual dos tomates nota-se uma evidência de que os tratamentos com campos elétricos reduziram a deterioração dos tomates cv. Paron pós-armazenamento. Atungulu, Atungulu e Nishiyama (2005a) em trabalho conduzido para maçãs cv. Fuji, relataram que frutos tratados continuamente com tensão aplicada de 10 kV apresentaram uma

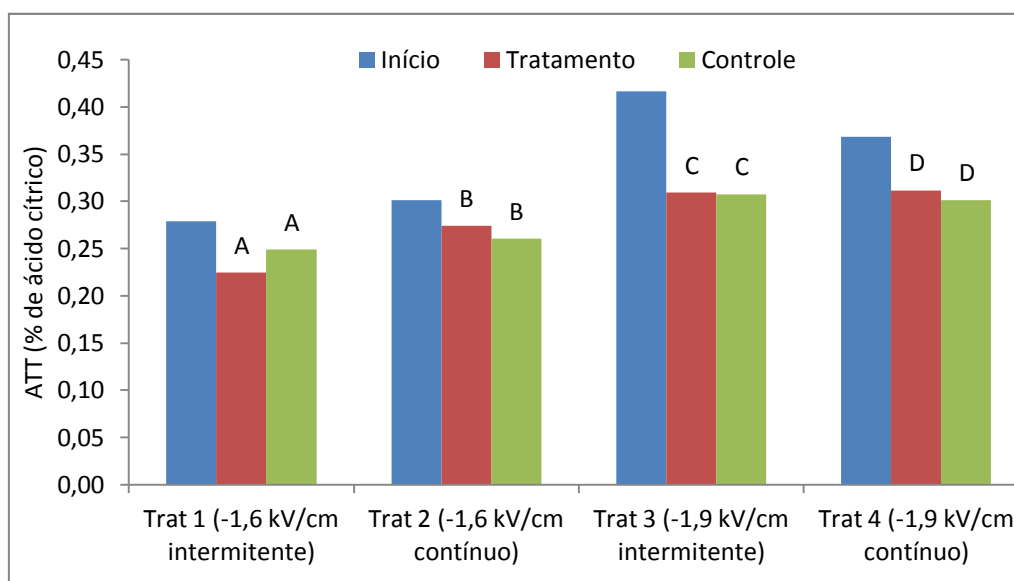
diminuição no apodrecimento e no crescimento de bolor em relação a frutos de controle.

Conforme pode ser observado na Figura 40, em todos os tratamentos a acidez total titulável apresentou tendência de queda em relação aos valores iniciais, o que está de acordo com o esperado, uma vez que, durante a maturação dos frutos, a ATT geralmente diminui devido à utilização de ácidos orgânicos no processo de respiração e da sua conversão em açúcares (CAVALINI, 2004; FONTES, 2005).

Nos tratamentos 2 e 4, a ATT dos frutos tratados foi maior que a dos frutos de controle. Entretanto, em todos os casos estudados, a diferença entre frutos tratados e de controle foi pequena e não significativa.

Sendo assim é possível afirmar que os tratamentos não influenciaram essa característica dos tomates.

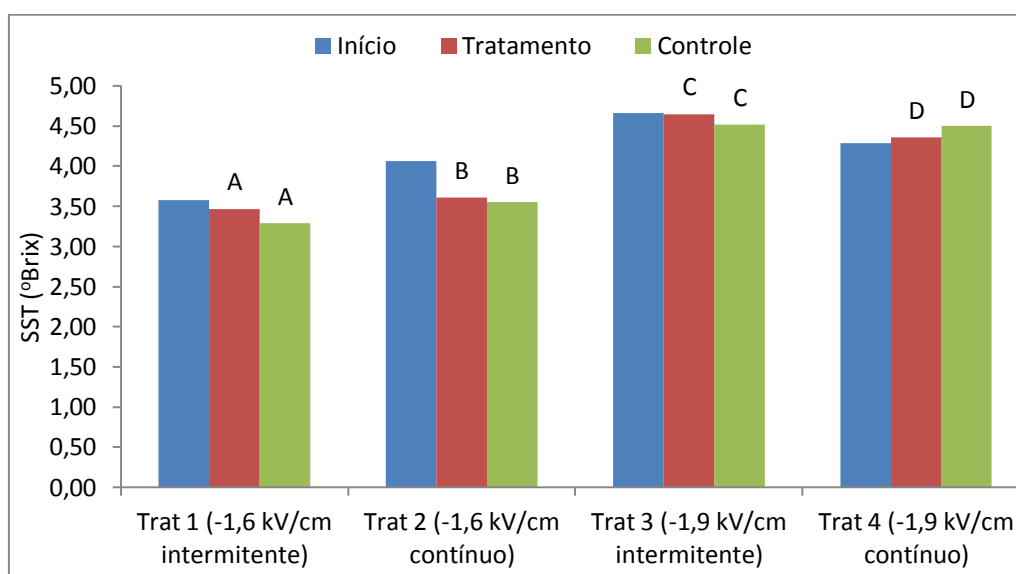
**Figura 40 - Variação da ATT de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4)**



Para o teor de sólidos solúveis (SST), com exceção do tratamento 4, foi observada uma tendência de queda em relação aos valores iniciais, com valores maiores de SST para frutos tratados (Figura 41).

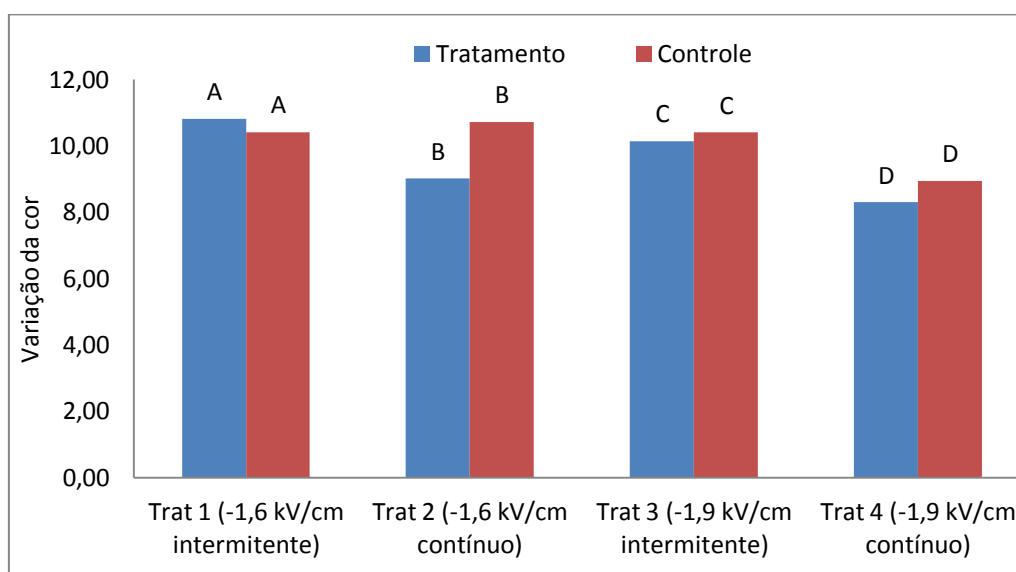
Em todos os tratamentos houve uma diferença pequena e não significativa entre frutos tratados e de controle, o que indica que os tratamentos não influenciaram o SST dos tomates.

**Figura 41 - Variação do SST de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4)**



Os resultados de variação da cor da epiderme dos tomates cv. Paron são apresentados na Figura 42.

**Figura 42 - Variação da cor de tomates cv. Paron após 15 dias de estocagem (tratamentos 1 a 4)**



Com exceção do tratamento 1, a variação da cor de tomates de controle foi maior que a de tomates tratados.

Embora tenha sido observada uma diferença maior na variação de cor de frutos tratados (9,02) em relação a frutos de controle (10,72) no tratamento 2, em todos os tratamentos essa diferença foi pequena e não significativa.

Dentre as condições avaliadas para tomates cv. Paron, o tratamento 4, no qual os frutos receberam aplicação contínua (24 horas por dia) de tensão de -1,9 kV/cm durante 10 dias, foi o que apresentou controle do apodrecimento e melhoria em todos os índices analisados, com uma diferença significativa na firmeza de frutos tratados em relação aos de controle. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Atungulu et al. (2005b), que observaram uma diminuição na perda de massa de tomates cv. Chika submetidos a tratamentos contínuos com tensão externa aplicada de 20 kV e estocados em temperatura ambiente (17 °C).

Ainda, em trabalhos realizados com tratamentos contínuos em maçãs cv. Fuji (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003) e tratamentos intermitentes (2 horas por dia) em tomates cv. Chaoyan-219 (WANG; WANG; LI, 2008), observou-se que a aplicação dos campos elétricos resultou em frutos tratados mais firmes, assim como no tratamento 4, o que é um fato positivo, uma vez que frutos mais firmes têm uma maior aceitação pelo mercado consumidor e resultam em um menor índice de perdas pós-colheita (GÓMEZ, 2005).

Já o tratamento 1, no qual os frutos receberam aplicação intermitente (2 horas por dia) de -1,6 kV/cm durante 10 dias, foi o que apresentou os piores resultados em alguns dos índices analisados.

#### 4.1.2.2 Análises do planejamento experimental

Os estudos dos efeitos principais e de interação dos parâmetros tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos sobre as características indicativas de qualidade dos frutos foram feitos utilizando-se a análise de variância (ANOVA). Através desses estudos, objetivou-se encontrar uma condição de operação em que a qualidade dos frutos fosse melhor mantida.

Os resultados da ANOVA para perda de massa, firmeza, ATT, SST e variação da cor da epiderme são apresentados nas Tabelas 1 a 5 a seguir.

**Tabela 1 - Resultados da ANOVA para perda de massa**

	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
<b>Tempo</b>	1	0,24	0,24	0,89	0,36
<b>Tensão</b>	1	0,61	0,61	2,30	0,15
<b>Tempo:Tensão</b>	1	$5,01 \cdot 10^{-4}$	$5,01 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	0,97
<b>Resíduos</b>	12	3,20	0,27		

Tabela 2 - Resultados da ANOVA para firmeza

	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
<b>Tempo</b>	1	$1,75 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$	1,43	0,25
<b>Tensão</b>	1	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	1,00	0,34
<b>Tempo:Tensão</b>	1	$4,28 \cdot 10^{-4}$	$4,28 \cdot 10^{-4}$	3,50	$8,59 \cdot 10^{-2}$
<b>Resíduos</b>	12	$1,47 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$		

Tabela 3 - Resultados da ANOVA para ATT

	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
<b>Tempo</b>	1	$2,71 \cdot 10^{-3}$	$2,71 \cdot 10^{-3}$	7,12	$2,05 \cdot 10^{-2}$
<b>Tensão</b>	1	$1,48 \cdot 10^{-2}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$	38,94	0
<b>Tempo:Tensão</b>	1	$2,19 \cdot 10^{-3}$	$2,19 \cdot 10^{-3}$	5,76	$3,35 \cdot 10^{-2}$
<b>Resíduos</b>	12	$4,57 \cdot 10^{-3}$	$3,81 \cdot 10^{-4}$		

Tabela 4 - Resultados da ANOVA para SST

	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
<b>Tempo</b>	1	$2,21 \cdot 10^{-2}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$	0,49	0,50
<b>Tensão</b>	1	3,74	3,74	83,05	0
<b>Tempo:Tensão</b>	1	0,18	0,18	4,10	$6,57 \cdot 10^{-2}$
<b>Resíduos</b>	12	0,54	$4,50 \cdot 10^{-2}$		

Tabela 5 - Resultados da ANOVA para variação da cor da epiderme

	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
<b>Tempo</b>	1	13,33	13,33	11,32	$5,60 \cdot 10^{-3}$
<b>Tensão</b>	1	1,92	1,92	1,63	0,23
<b>Tempo:Tensão</b>	1	$1,99 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-3}$	$1,69 \cdot 10^{-3}$	0,97
<b>Resíduos</b>	12	14,13	1,18		

Considerando um nível de significância de 95 % ( $P\text{-valor} < 0,05$ ), da análise das tabelas, tem-se que para a ATT houve uma interação significativa ( $P\text{-valor} = 0,0335$ ) entre os parâmetros tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos, para o SST houve um efeito principal da tensão aplicada ( $P\text{-valor} = 0$ ), e para a variação da cor da epiderme houve um efeito principal do tempo de aplicação da tensão ( $P\text{-valor} = 0,0056$ ).

Para auxiliar as análises da influência dos parâmetros em estudo sob cada uma das características indicativas de qualidade dos frutos, foram estabelecidos modelos matemáticos (Tabela 6) expressos por funções de primeira ordem, onde  $x_1$  é a variável codificada do tempo,  $x_2$  é a variável codificada da tensão e  $y_i$  é a característica indicativa de qualidade. Os ajustes

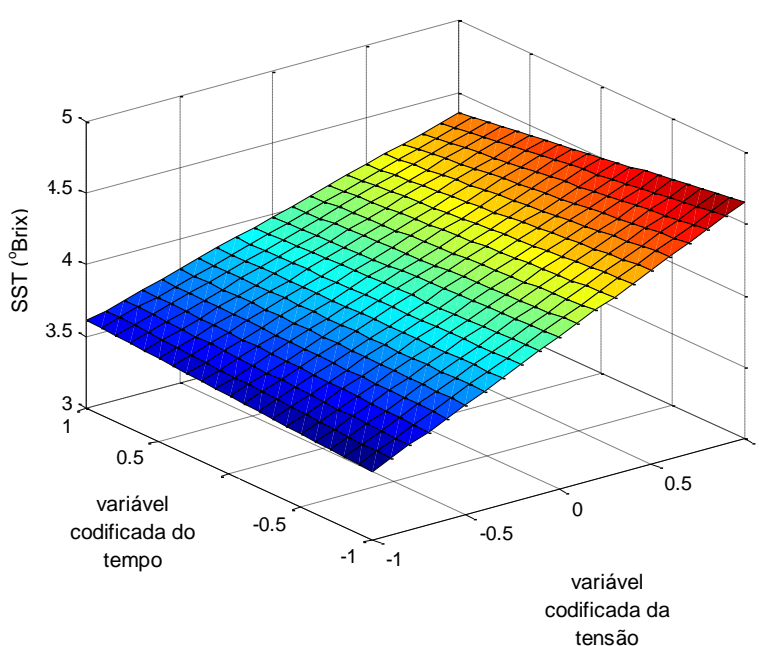
dos modelos foram verificados pelos valores dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ), os quais são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Modelos matemáticos e coeficientes das características indicativas de qualidade em função das variáveis codificadas de tensão ( $x_2$ ) e tempo ( $x_1$ ) de aplicação dos campos elétricos**

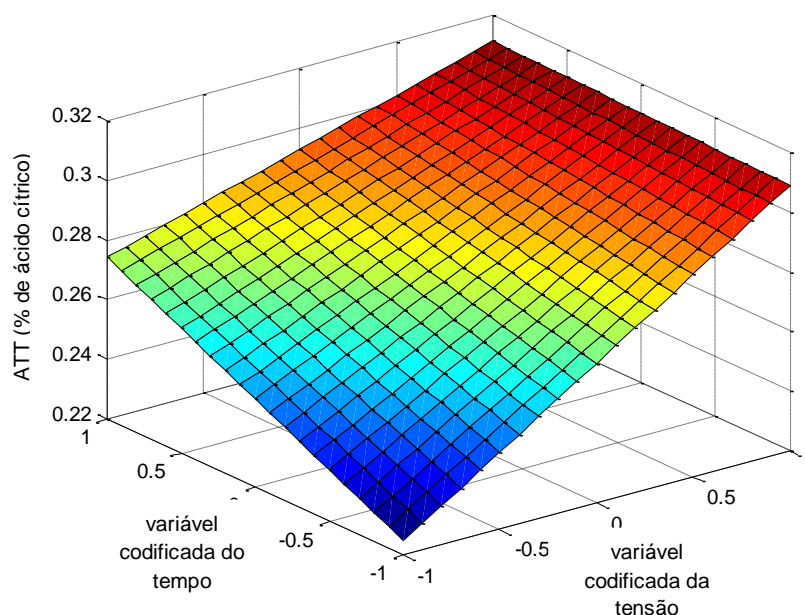
Característica de qualidade	Modelo	$R^2$
Perda de massa	$y_i = 2,86 - 0,12x_1 - 0,19x_2 + 5,60 \cdot 10^{-3}x_1x_2$	21,03
Firmeza	$y_i = 5,62 \cdot 10^{-2} + 3,31 \cdot 10^{-3}x_1 - 2,76 \cdot 10^{-3}x_2 + 5,17 \cdot 10^{-3}x_1x_2$	33,07
Cor	$y_i = 9,57 - 0,91x_1 - 0,35x_2 - 1,11 \cdot 10^{-2}x_1x_2$	51,91
SST	$y_i = 4,02 - 3,72 \cdot 10^{-2}x_1 + 0,48x_2 - 1,07 \cdot 10^{-1}x_1x_2$	87,96
ATT	$y_i = 0,28 + 1,30 \cdot 10^{-2}x_1 + 3,04 \cdot 10^{-2}x_2 - 1,17 \cdot 10^{-2}x_1x_2$	81,19

Tendo em vista que, para valores de  $R^2$  superiores a 70% considera-se que o modelo está explicando bem a variação na variável resposta, foram construídos, a partir dos modelos obtidos, superfícies de resposta para o SST ( $R^2=87,96$ ) e ATT ( $R^2=81,19$ ), os quais são apresentados na Figura 43 e Figura 44 respectivamente (PORTAL ACTION, 2012). Para os demais índices as superfícies não foram analisadas porque os coeficientes de correlação linear foram inferiores a 70%.

**Figura 43 - Superfície de resposta do SST em função da tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos**



**Figura 44 - Superfície de resposta do ATT em função da tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos**



A interação dos parâmetros tensão e tempo de aplicação dos campos elétricos para a ATT foi negativa, uma vez que o coeficiente do modelo para o termo de interação foi de  $-0,0117$ , ou seja, quanto menor for a tensão aplicada (no intervalo de  $-1,6$  a  $-1,9$  kV/cm), maior deverá ser o tempo de aplicação dos campos elétricos (no intervalo de 2 a 24 horas por dia).

Embora tenha sido obtido um valor de coeficiente de correlação linear inferior a 70% para o modelo matemático da variação da cor da epiderme, a equação ajustada indicou um efeito negativo do tempo sobre essa característica indicativa de qualidade, o que significa que a passagem do nível baixo (2 horas por dia) para o nível alto (24 horas por dia) de tempo levou a uma diminuição na variação da cor da epiderme de frutos tratados. Isso indica que provavelmente, no nível alto de tempo, após a estocagem, a cor dos frutos estava mais próxima da cor inicial, e, portanto, a qualidade foi melhor mantida nesse nível.

Para o SST, observou-se um efeito positivo da tensão aplicada, uma vez que o coeficiente do modelo para o termo da tensão foi de  $+0,4833$ , ou seja, a passagem do nível baixo ( $-1,6$  kV/cm) para o nível alto ( $-1,9$  kV/cm) de

tensão levou a um acréscimo de aproximadamente 27% no SST dos frutos tratados.

Portanto, a partir das análises do planejamento experimental, observa-se que, possivelmente, nos intervalos avaliados para cada parâmetro, a utilização de tratamento contínuo (24 horas por dia) com aplicação de -1,9 kV/cm seria uma condição otimizada de operação, uma vez que há uma evidência de que tratamentos contínuos resultam em menor alteração na cor da epiderme e que a ATT dos frutos é maior no nível alto de tempo e tensão (24 horas por dia e -1,9 kV/cm), o que indica frutos com maior qualidade, já que a ATT geralmente é menor para frutos mais maduros, pois, durante o período de amadurecimento, o fruto utiliza ácidos orgânicos no processo respiratório e os converte em açúcares para a manutenção do seu metabolismo (CAVALINI, 2004; SANTOS FILHA, 2006).

Ainda, tendo em vista que, geralmente, durante a maturação, o SST dos frutos tende a aumentar, a utilização do nível baixo de tensão (-1,6 kV/cm) seria uma boa condição de operação, já que o SST é menor nesse nível. Entretanto, uma vez que após ser colhido, o fruto passa a depender das suas reservas de substrato para manter o seu metabolismo, chega um momento do armazenamento em que o SST passa a diminuir com o tempo (YAMASHITA et al., 2006).

Sendo assim, não é possível afirmar-se com segurança se o SST do nível baixo de tensão é menor porque os frutos mantiveram suas qualidades ou porque eles estão usando suas reservas e encontram-se no período de senescência.

#### **4.2 Ensaio de armazenamento**

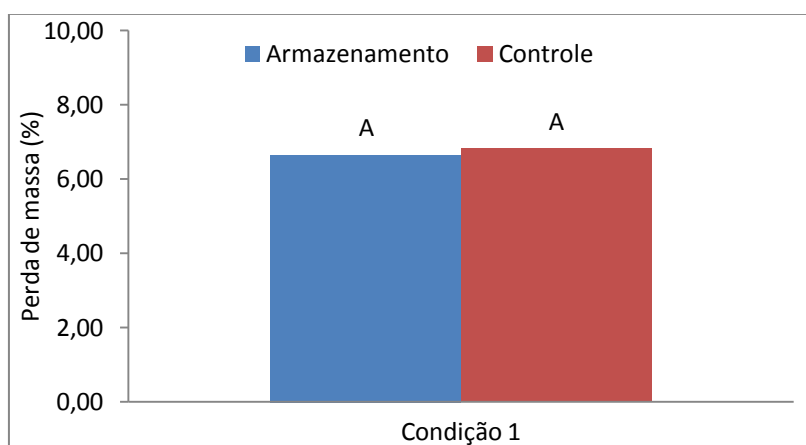
Foram estudadas três condições diferentes de armazenamento de tomates cv. Paron, sem a aplicação de campos elétricos, sendo duas delas em câmara climatizada, com amostragens de dez (condição 1) e vinte tomates (condição 2), e uma em geladeira, com amostragem de dez tomates (condição 3).

## 4.2.1 Câmara climatizada

### 4.2.1.1 Dez frutos

Os resultados para a perda de massa da amostragem de dez frutos cv. Paron armazenados em câmara climatizada são apresentados na Figura 45.

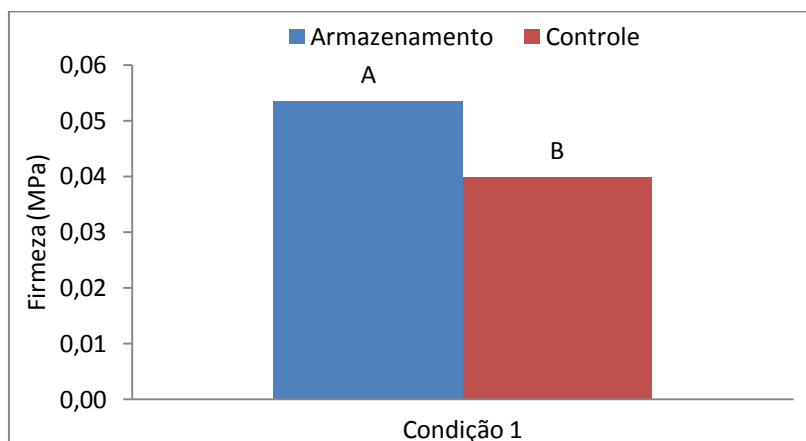
**Figura 45 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



A perda de massa percentual foi equivalente para frutos tratados e de controle, indicando que o armazenamento não influenciou essa característica dos frutos.

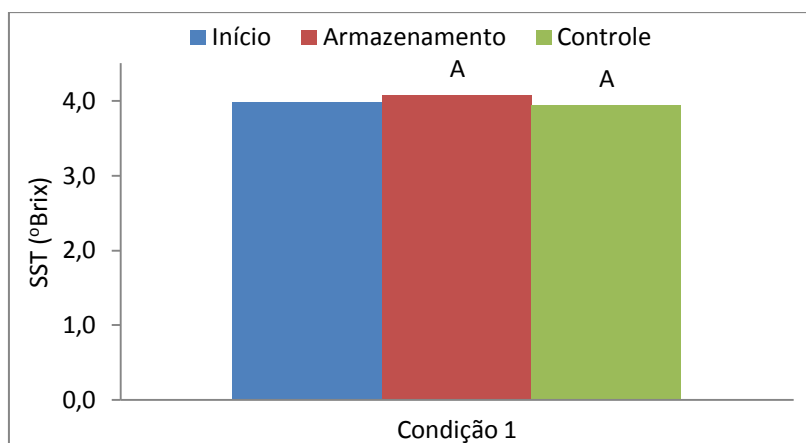
Conforme pode ser observado na Figura 46, após 17 dias de estocagem, a firmeza dos frutos armazenados foi significativamente maior que a dos frutos de controle. Portanto, o armazenamento dos frutos em câmara climatizada influenciou essa propriedade dos mesmos, de modo que, obtiveram-se frutos de armazenamento com maior qualidade, uma vez que eles se apresentaram mais firmes após a estocagem (GÓMEZ, 2005).

**Figura 46 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



Os resultados do teor de sólidos solúveis (SST) para os frutos da condição 1 são apresentados na Figura 47.

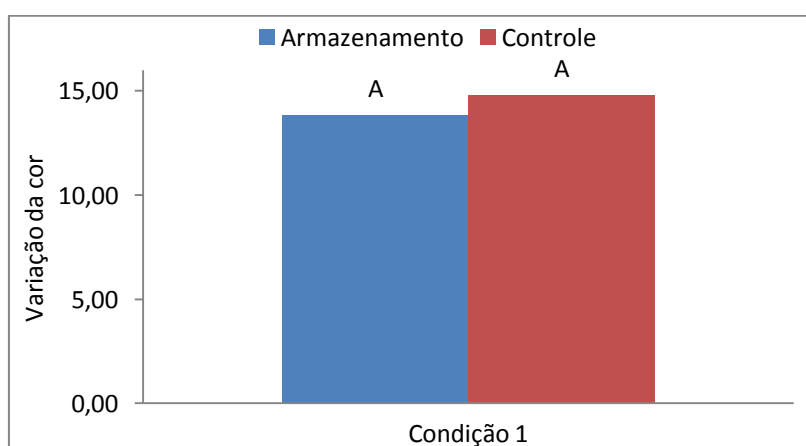
**Figura 47 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



Apesar do SST dos frutos de armazenamento (4,1 °Brix) ter sido maior que o dos frutos de controle (3,9 °Brix), a diferença observada entre eles não foi estatisticamente significativa e a variação em relação ao valor inicial (4,0 °Brix) foi equivalente para os frutos de ambos os grupos. Sendo assim, é possível afirmar que o armazenamento não influenciou essa característica dos tomates.

Os resultados para variação da cor da epiderme dos tomates cv. Paron da condição 1 de estocagem são apresentados na Figura 48.

**Figura 48 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



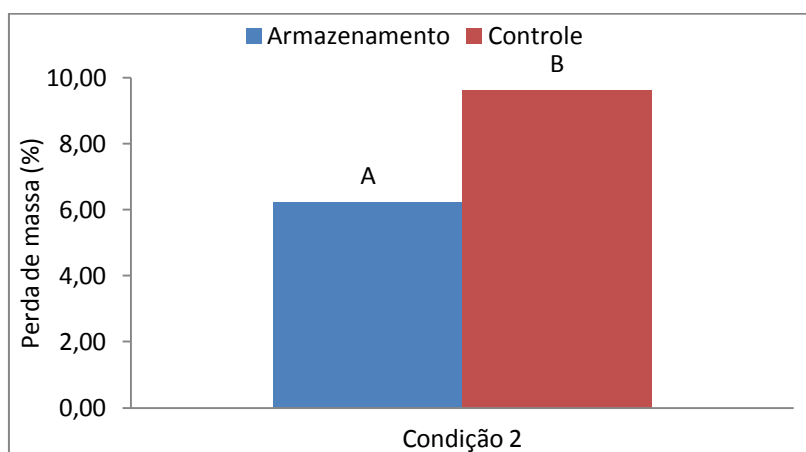
A diferença entre a variação da cor da epiderme de frutos armazenados (13,83) e de controle (14,77) foi pequena e não significativa, o

que é um indício de que o armazenamento não influenciou essa propriedade dos tomates.

#### 4.2.1.2 Vinte frutos

Os resultados obtidos para a perda de massa percentual da amostragem de vinte frutos armazenados em câmara climatizada são apresentados na Figura 49.

**Figura 49 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



Houve uma diferença significativa entre a perda de massa de frutos tratados (6,22%) e frutos de controle (9,62%) e, portanto, o armazenamento influenciou essa propriedade dos frutos.

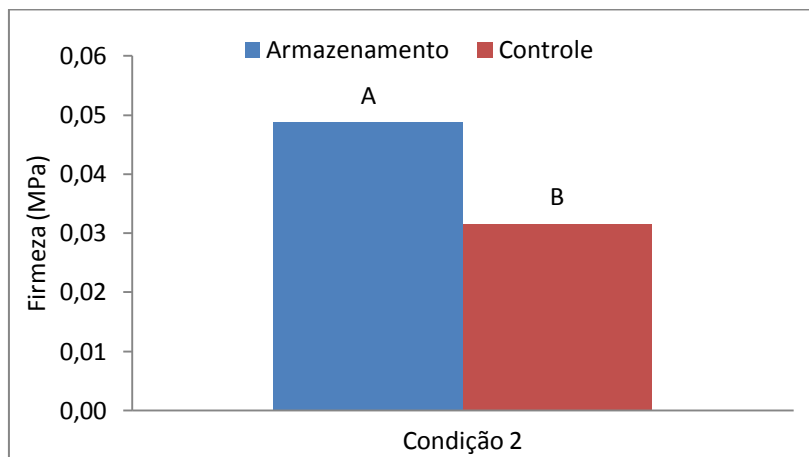
Uma vez que a perda de massa percentual está diretamente relacionada à perda de qualidade do fruto, pois ela provoca alterações na sua textura, pelos resultados obtidos, observa-se que o armazenamento em condições de umidade e temperatura constantes resultou em frutos com maior qualidade em relação aos frutos de controle (VICENTINI; CEREDA; CÂMARA, 1999).

Conforme pode ser observado na Figura 50, após os 17 dias de estocagem em câmara climatizada, a firmeza obtida para tomates armazenados (0,05 MPa) foi significativamente maior que para tomates de controle (0,03 MPa).

Tendo em vista que frutos mais firmes possuem uma maior qualidade e são melhores aceitos pelo mercado consumidor, pode-se afirmar que o

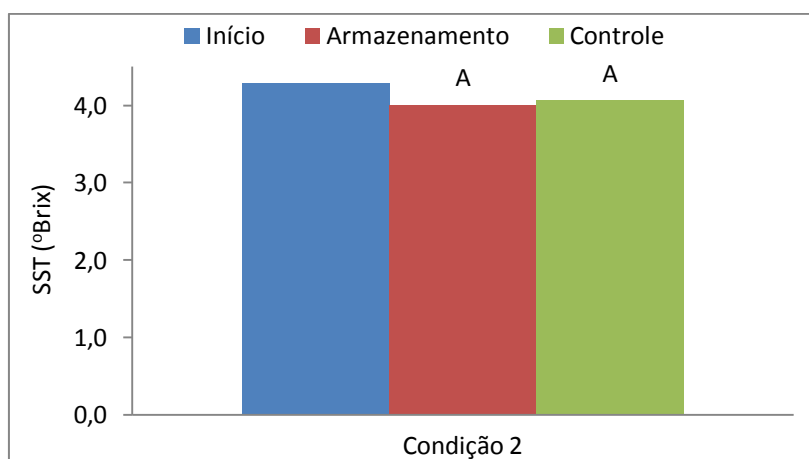
armazenando foi eficiente no aumento de vida útil dos tomates cv. Paron (GÓMEZ, 2005).

**Figura 50 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



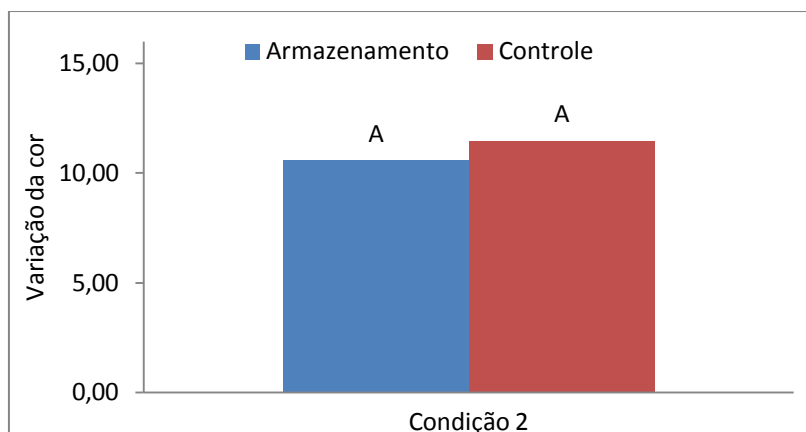
Quanto ao SST (Figura 51), observa-se que a diferença entre os valores dos frutos de armazenamento (4,0 °Brix) e de controle (4,1 °Brix) foi pequena e não significativa. Ainda, os frutos dos dois grupos apresentaram valores próximos ao inicial (4,3 °Brix), o que indica que o armazenamento não influenciou essa característica dos tomates.

**Figura 51 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**



Os resultados obtidos para a variação da cor da epiderme dos tomates cv. Paron submetidos à condição 2 de estocagem são apresentados na Figura 52.

**Figura 52 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 20 frutos) após 17 dias de estocagem em câmara climatizada**

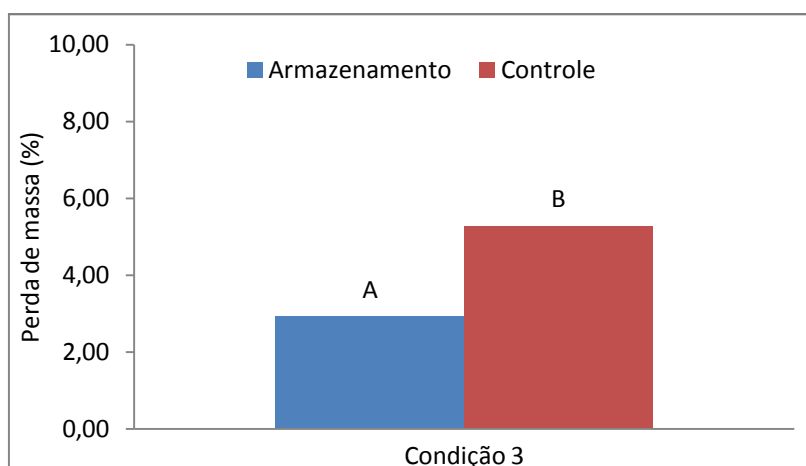


A diferença entre a variação da cor da epiderme de frutos armazenados (10,57) e de controle (11,46) foi pequena e não significativa. Sendo assim, é possível afirmar que o armazenamento não influenciou essa propriedade dos frutos analisados.

#### 4.2.2 Geladeira

Os resultados de perda de massa percentual de tomates cv. Paron armazenados em geladeira são apresentados na Figura 53.

**Figura 53 - Perda de massa percentual de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira**



A perda de massa dos frutos de armazenamento (2,92%) foi significativamente menor que a dos frutos de controle (5,27%).

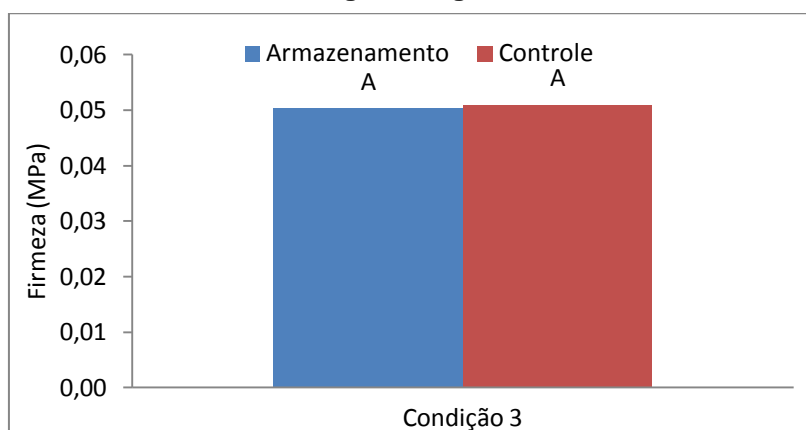
Tendo em vista que a perda de massa está diretamente relacionada à perda de qualidade dos frutos, a análise dos resultados indica que o

armazenamento influenciou essa propriedade dos frutos, resultando em frutos armazenados com maior qualidade (VICENTINI; CEREDA; CÂMARA, 1999).

Após 17 dias de armazenamento em geladeira, a firmeza dos frutos armazenados e de controle foi equivalente e igual a 0,05 MPa, conforme pode ser observado na Figura 54.

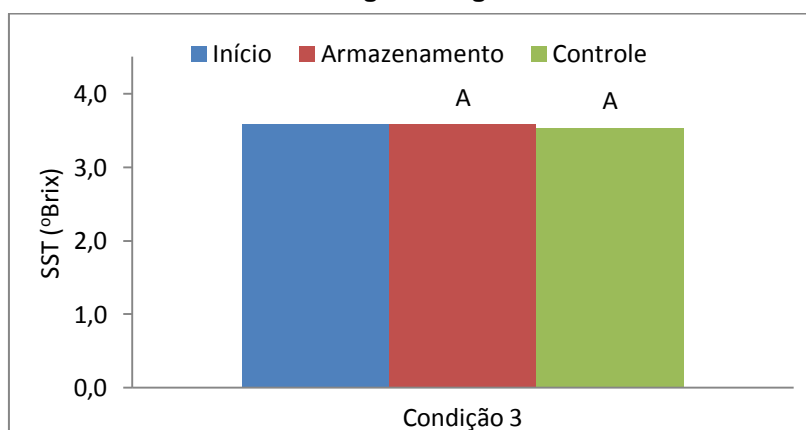
Sendo assim, é possível afirmar que o armazenamento não influenciou o índice de firmeza dos frutos.

**Figura 54 - Firmeza de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira**



Os resultados obtidos para o teor de sólidos solúveis dos frutos armazenados em geladeira são apresentados na Figura 55.

**Figura 55 - Variação do SST de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira**

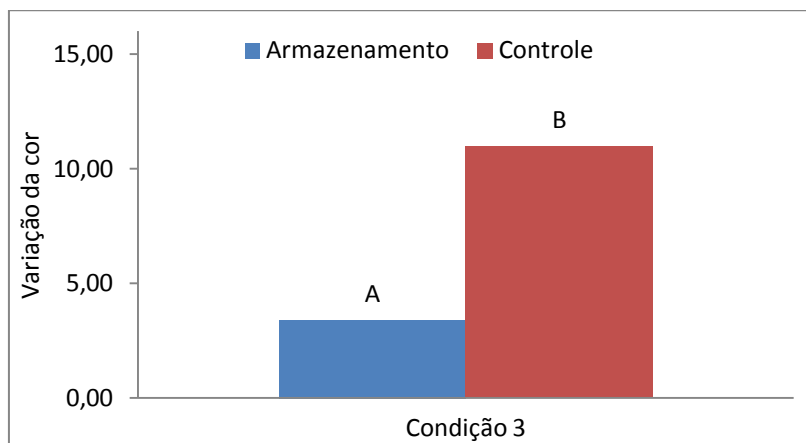


Após o período de estocagem, a diferença entre o teor de sólidos solúveis de frutos armazenados (3,6 °Brix) e de controle (3,5 °Brix) foi pequena e não significativa. Ainda, o teor de ambos os grupos manteve-se próximo ao valor inicial (3,6 °Brix).

Pela análise dos resultados, é possível afirmar que o armazenamento não influenciou essa propriedade dos tomates.

Os resultados obtidos para a variação da cor dos frutos armazenados em geladeira são apresentados na Figura 56.

**Figura 56 - Variação da cor de tomates cv. Paron (amostras com 10 frutos) após 17 dias de estocagem em geladeira**



A variação da cor da epiderme dos frutos de controle foi aproximadamente três vezes maior que a dos frutos armazenados em geladeira. Uma vez que a diferença entre a variação da cor dos frutos dos dois grupos foi significativa, observa-se que o armazenamento influenciou essa característica dos frutos e resultou em frutos armazenados com maior qualidade, uma vez que durante o amadurecimento, a coloração dos frutos tende a variar devido a reações de síntese e degradação de pigmentos (CAVALINI, 2004).

Dos resultados obtidos é possível observar que nos ensaios de armazenamento em câmara climatizada, quando utilizados dez frutos, houve uma melhoria significativa em apenas uma propriedade dos tomates (firmeza), enquanto que, quando utilizados vinte frutos, foi detectada melhora significativa em duas propriedades (perda de massa e firmeza).

Sendo assim, o tamanho da amostra influenciou os resultados obtidos para as características indicativas de qualidade dos frutos. Considerando que muitos fatores que não podem ser controlados afetam os resultados das características de cada fruto dentro de um mesmo lote, tal qual o modo como o material foi plantado, irrigado, exposto ao sol e colhido e o fato de que frutos visualmente considerados em mesmo estágio de maturação nem sempre

realmente se encontram no mesmo estágio, o que resulta em uma dificuldade na seleção inicial de frutos idênticos e em mesmo estágio de maturação dentre a quantidade de frutos disponibilizada pelo fornecedor, é esperado que o uso de uma amostra maior leve a resultados mais representativos.

Quando comparados os resultados obtidos para vinte frutos armazenados em câmara climatizada e dez frutos armazenados em geladeira, observa-se que os tomates apresentaram melhoria significativa em duas propriedades tanto para o armazenamento em câmara climatizada (perda de massa e firmeza) quanto para o armazenamento em geladeira (perda de massa e variação da cor da epiderme).

O tomate é um fruto que sofre injúrias pelo frio, entretanto, os danos causados pelo frio são geralmente notados quando o fruto volta à temperatura ambiente. Sendo assim, embora a manutenção da qualidade dos tomates armazenados em geladeira tenha sido observada em duas propriedades, assim como para os armazenados em câmara climatizada, os danos provocados pela baixa temperatura de armazenamento ( $1,0 \pm 0,8$  °C) não foram inseridos nos resultados obtidos para os frutos armazenados em geladeira, uma vez que os frutos não foram retirados da geladeira durante os 17 dias de estocagem (FLORKOWSKI et al., 2009).

Por fim, tendo em vista que uma amostragem de quatro tomates cv. Paron, tratados continuamente com tensão de -1,9 kV/cm e estocados em condições ambientes apresentou melhoria significativa na firmeza e um controle do apodrecimento, e uma amostragem de vinte frutos armazenados em câmara climatizada apresentou melhoria significativa na perda de massa e firmeza, não é possível afirmar que um dos tratamentos tenha sido mais vantajoso que o outro. Uma vez que foi utilizada uma amostragem pequena (quatro frutos) para o tratamento com campos elétricos e que essa técnica apresenta um baixo custo operacional (ATUNGULU; NISHIYAMA; KOIDE, 2003), a utilização desse tipo de tratamento para o aumento da vida pós-colheita de tomates mostra-se promissora.

### **4.3 Teor de licopeno**

O teor de licopeno foi determinado para um fruto de tratamento e um de controle do tratamento 3 com campos elétricos em tomates cv. Paron, onde

o fruto foi submetido a um tratamento intermitente (2 horas por dia) com tensão aplicada de -1,9 kV/cm. O teor de licopeno obtido para o fruto tratado foi de 13,39 µg de licopeno/ g de tomate, e de 16,34 µg de licopeno/ g de tomate para o fruto de controle.

Para a condição 2 de estocagem de tomates cv. Paron, em que uma amostragem de vinte frutos foi estocada em câmara climatizada, determinou-se o teor de licopeno para um fruto de armazenamento (13,27 µg de licopeno/ g de tomate) e para um fruto de controle (12,33 µg de licopeno/ g de tomate).

Apesar do teor de licopeno estar intimamente relacionado à maturação dos frutos, de modo que quanto maior o teor, mais maduro está o fruto, para os casos estudados, as diferenças entre frutos tratados e de controle, e entre frutos armazenados e de controle foi pequena, não sendo possível identificar uma diferença de maturação entre os frutos pela análise dessa propriedade (CARVALHO et al., 2005).

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu as seguintes conclusões:

- o sistema experimental foi adequado para a realização de ensaios com a aplicação de campos elétricos em tomates;

- nos ensaios da etapa 1 (tomates cv. Andrea Victory), foram constatados resultados positivos com aplicação de campos elétricos intermitentes (2 horas por dia) com tensão de -1,6 kV/cm e armazenamento em câmara climatizada e também com tensão de -2,0 kV/cm e armazenamento em condições ambientes;

- para tomates cv. Paron tratados com campos elétricos, a firmeza foi a propriedade que mais sofreu influência positiva, pois ela apresentou valores maiores para os frutos tratados em todas as condições estudadas e, ainda, no tratamento 4, a diferença entre frutos tratados e de controle foi estatisticamente significativa. Além disto, uma análise visual dos tomates cv. Paron utilizados nos ensaios com campos elétricos evidencia que os tratamentos contribuíram no controle do apodrecimento e resultaram em frutos com melhor aparência;

- os resultados das análises de perda de massa percentual, acidez total titulável, teor de sólidos solúveis e variação da cor da epiderme apresentaram, para todos os tratamentos realizados com tomates cv. Paron, variações pequenas e não significativas entre frutos tratados e de controle, não sendo possível afirmar que os tratamentos com campo elétrico influenciaram essas propriedades dos tomates;

- para tomates cv. Paron, o tratamento com aplicação contínua (24 horas por dia) de tensão de -1,9 kV/cm foi o que apresentou os melhores resultados, enquanto que o tratamento com aplicação intermitente (2 horas por dia) de -1,6 kV/cm foi o que apresentou os piores resultados;

- as análises estatísticas do planejamento experimental indicaram que o tratamento contínuo com aplicação de tensão de -1,9 kV/cm é uma condição otimizada de operação entre os intervalos de tensão (-1,6 a -1,9 kV/cm) e tempo de aplicação (2 a 24 horas por dia) estudados;

- o armazenamento de tomates cv. Paron em câmara climatizada (vinte frutos) à 15 °C e umidade relativa de 70% resultou em uma melhoria nas perdas de massa e firmeza de frutos armazenados, e o armazenamento em geladeira resultou em uma redução da perda de massa e variação da cor da epiderme dos frutos armazenados;

- o tamanho da amostragem utilizada nos ensaios de armazenamento em câmara climatizada teve influência nos resultados obtidos para as características indicativas de qualidade dos frutos, sendo que a amostragem com vinte frutos apresentou resultados mais satisfatórios;

- não foi possível observar uma diferença entre frutos tratados intermitentemente com -1,9 kv/cm e frutos de controle quanto ao teor de licopeno, o que aconteceu também para frutos armazenados em câmara climatizada;

- quando comparadas as técnicas de tratamento com campos elétricos e tratamentos refrigerados, não foi possível identificar uma vantagem clara de uma perante a outra, entretanto, a utilização de campos elétricos de alta tensão pode ser uma alternativa promissora de tratamento não térmico, já que o consumo energético é baixo, pois o sistema opera com tensões elevadas, porém com correntes muito baixas.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando dar continuidade à linha de pesquisa em que o presente trabalho está inserido, sugere-se para trabalhos futuros:

- uma investigação mais detalhada da relação entre a tensão externa aplicada e a corrente corona no sistema de aplicação de campos elétricos;

- a realização de ensaios utilizando-se espécies que possuam uma estrutura interna homogênea e que estejam menos sujeitas a variações nas suas estruturas e composições, como maçã, pera, cenoura, mandioca;

- a utilização de amostragens maiores para os ensaios com aplicação de campos elétricos, visando à obtenção de resultados estatisticamente significativos, limitando-se as análises das características indicativas de qualidade à perda de massa, firmeza e variação da cor da epiderme, uma vez que essas são análises rápidas, de baixo custo, e apresentaram resultados estatisticamente significativos em pelo menos um dos ensaios realizados no presente trabalho;

- a realização de um planejamento composto central (PCC), o que permitiria uma avaliação de interações de segunda ordem entre os fatores;

- a inclusão de uma etapa de higienização e desinfecção dos frutos e vegetais antes de iniciarem-se os ensaios;

- a realização de ensaios com aplicação de campos elétricos variando-se alguns parâmetros do sistema, como a distância entre os eletrodos, os tipos de eletrodos (ponta-placa, placa-placa) e o tempo de aplicação (quantidade de dias e o tempo de aplicação por dia), com a finalidade de avaliar a influência desses parâmetros na conservação de frutas e hortaliças.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUCETTI, C. **Avaliação da qualidade do tomate de mesa tratado com gás etileno**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ANDREWS, J. The climacteric respiration in attached and detached tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, UK, v. 6, n.1, p. 287-292, 1995.

ANTONIOLLI, L. R. et al. Remoção da adstringência de frutos de caquizeiro 'Giombo' sob diferentes períodos de exposição ao vapor de álcool etílico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2083-2091, 2000.

ARMAROLI, J. G. **Nova abordagem de ozonizadores para tratamento de água e esgoto por descarga corona**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ATUNGULU, G.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Use of an electric field to extend the shelf life of apples. **Biosystems Engineering**, Japão, v. 85, n. 1, p. 41-49, 2003.

ATUNGULU G.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Electrode configuration and polarity effects on physicochemical properties of electric field treated apples post harvest. **Biosystems Engineering**, Japão, v. 87, n. 3, p. 313-323, 2004a.

ATUNGULU, G.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Respiration and climacteric patterns of apples treated with continuous and intermittent direct current electric field. **Journal os Food Engineering**, Japão, v. 63, p. 1-8, 2004b.

ATUNGULU, G.; ATUNGULU, E.; NISHIYAMA, Y. Electrode configuration and treatment timing effects of electric fields on fruit putrefaction and molding post harvest. **Journal of Food Engineering**, Japão, v. 70, p. 506-511, 2005a.

ATUNGULU, G. et al. Efficacy of high voltage treatment on tomato storage. **Journal of Food Technology**, Japão v. 3, n. 2, p. 209-215, 2005b.

BEGGS, C. **What is a corona discharge and how does it work?**. Bradford: University of Bradford, 1 p., 2006.

BRON, I. U. **Amadurecimento do mamão 'Golden': ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado**. 2006. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CALBO, A. G., LUENGO, R. F. A. **Armazenamento de hortaliças**. 21. ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 242 p.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura brasileira**, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995.

CAMARGO, A. M. M. P. et al. Desenvolvimento do sistema agroindustrial do tomate. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 6, p.53-58, 2006.

CARVALHO, P. G. B. et al. Hortaliças como alimentos funcionais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 397-404, 2006.

CARVALHO, W. et al. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 819-825, 2005.

CAVALINI, F. C. **Índices de maturação, ponto de colheita e padrão respiratório de goiabas ‘Kumagai’ e ‘Paluma’**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CHIATTONE, P. V.; TORRES, L. M.; ZAMBIAZI, R. C. Aplicação do ozônio na indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 3, p. 341-349, 2008.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL, 1990. 320 p.

CM-5 espectrofotômetro. Disponível em: <<http://sensing.konicaminolta.com.br>> Acesso em: 10 ago. 2012.

COOPERCITRUS Tomaticultura lidera crescimento e lucratividade no setor de hortaliças. **Revista Agropecuária**, ed. 288, 2010.

COSTA, C. W. **Conversores estáticos operando em alta tensão aplicados em filtragem eletrostática**. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. Tomate longa vida: O que são, com foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 3-4, 2000.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Cultivo de tomate para industrialização**. Brasília: versão eletrônica, 2. ed., 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 10 ago. 2012.

FERREIRA, M. C. **Conservação de frutas *in-natura***: uso de campos elétricos para reduzir a deterioração e aumentar o tempo de armazenamentos. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2007. Projeto de Pesquisa – Edital Universal.

FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 144 p.

FLORKOWSKI, W. J.; SHEWFELT, R. L.; BRUECKNER, B; PRUSSIA, S. E. **Postharvest handling: a systems approach**. 2. ed. New York: Academic Press, 2009. 358 p.

FONTES, L. C. B. **Uso de solução conservadora e de películas comestíveis em maçãs da cultivar Royal Gala minimamente processada: efeito na fisiologia e na conservação.** 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAOSTAT. **Top production: tomatoes – 2011.** Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso em: 04 abr. 2013.

GIACOMETTI, J. A.; OLIVEIRA Jr. O. Corona charging of polymers. **IEE Transactions on Electrical Insulation**, v. 27, n. 5, p. 924-943, 1992.

GOLDMAN, M.; GOLDMAN, A.; SIGMOND, R. S. The corona discharge its properties and specific uses. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 9, p. 1353-1362, 1985.

GÓMEZ, A. C. S. **Influência das condições de conservação sobre a qualidade pós-colheita de diferentes cultivares de maçã.** 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GONÇALVES, J. A. C. **Pesquisas, propriedades e aplicações de detectores de fiação em problemas de física nuclear e de energia atômica.** 1993. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 04 abr. 2013.

JOB, A. L. **Propriedades elétricas da descarga corona obtida com geometrias do tipo ponta e plano.** 1989. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) – Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

KHAREL, G. P.; HASHINAGA, F. Effect of high electric field on shelf life of strawberries. **Food Science and Technology International**, Japão, v. 2, n. 4, p. 198-202, 1996.

KOIKE, C. M. **Variação hormonal correlacionada à expressão de enzimas ligadas ao metabolismo do amido durante o desenvolvimento e amadurecimento da manga (*Mangifera indica* cv Keitt).** 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEVY, J.; SHARONI, Y. As funções do licopeno do tomate e seu papel na saúde humana. **HerbalGram**, v. 62, p. 49-56, 2004.

LOMBARDI, S. R. B.; MORAES, D. M.; CAMELLATO, D. Avaliação do crescimento e da maturação pós-colheita de peras da cultivar Shinsseiki. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2399-2405, 2000.

MORAES, I. V. M. **Conservação de hortaliças**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. Dossiê técnico.

NAIKA, S. et al. **A cultura do tomate**. Wageningen: Fundação Agromisa; CTA, 2006. 104 p. Agrodok, 17

NÓBREGA, S. W. **Estudo do desempenho de um precipitador eletrostático do tipo placa-fio na remoção de um material particulado polidisperso**. 2002. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 45. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. v.3. 323 p.

PALANIMUTHU, V. et al. Improving cranberry shelf-life using high voltage electric field treatment. **Journal os Food Engineering**, Canadá, v. 90, p. 365-371, 2009.

PORTAL ACTION. **Manual Action**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/manual>> Acesso em: 13 set. 2012.

RODRIGUES, L. **Tomate**. Disponível em: <<http://nutrindoconhecimento.wordpress.com/2011/04/11/tomate/>>. Acesso em: 10 ago. 2012

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in food**. USA: OMNI Research; ILSI Human Nutrition Institute, 2001. 64p.

SANTOS FILHA, M. E. C. **Qualidade e conservação pós-colheita de frutos de seis cultivares de coqueiro anão**. 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2006.

SCHÜNEMANN, A. P. P. **Pós-colheita de morango ‘Camarosa’ e pêssego ‘Eldorado’ produzidos em sistema orgânico e convencional armazenados em atmosfera controlada**. 2009. 104 f. Tese (Doutorado em Fruticultura de Clima Temperado), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

SELLIN, N. **Análise da superfície de polímeros pós-tratamento corona**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SENA, H. C. **Efeitos da descarga corona em superfície de polipropileno em temperatura ambiente e acima**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SILVA, O.; SOARES, A. G. **Recomendações para prevenção de perdas pós-colheita do mamão**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2001. (Documento, n. 44).

SOARES, A. G. Perdas pós-colheita de frutas e hortaliças. In: Fórum de Agronegócios da Unicamp, mai. 2009, Campinas. **Qualidade e Segurança de Alimentos**. Campinas: Unicamp, 2009. Mesa Redonda: Qual o tamanho do desperdício.

STEFFENS, C. A. **Respiração de frutos e permeabilidade de filmes poliméricos**. 2006. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

VICENTINI, N. M.; CEREDA, M. P.; CÂMARA, F. L. F. Revestimentos de fécula de mandioca, perda de massa e alteração da cor de frutos de pimentão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 713-716, 1999.

VILELA, N. J. et al. O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 142-144, 2003.

WANG, Y.; WANG, B.; LI, L. Keeping quality of tomato fruit by high electric field pretreatment during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, China, v. 88, p. 464-470, 2008.

WEIQING, L. et al. Application of high-voltage electrostatic equipment to ethylene removal. **International Journal of Food Engineering**, China, v. 7, n. 1, artigo 10, 2011.

WHAT is corona?: a clearly explained and illustrated story about three types of corona discharge and their relationship to radio interference. **Boletim da Hubbell Power Systems**, 2004. EU1234-H.

YAMASHITA, F. et al. Morangos embalados com filme de Policloreto de vinila (PVC). **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 429-436, 2006.