



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA



# Estudo da Influência da Tensão durante o Aquecimento Ôhmico da Polpa de Acerola

*Autor: Matheus Furtado Grings*

*Orientador: Lígia Damasceno Ferreira Marczak*

*Co-orientador: Júlia Ribeiro Sarkis*

Porto Alegre, julho de 16

## Sumário

Sumário	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Símbolos	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	ix
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	2
2.1 Acerola ( <i>Malpighia Emarginata</i> )	2
2.2 Antocianinas	4
2.3 Métodos de Tratamento Térmico	6
2.3.1 Método Convencional	7
2.3.2 Aquecimento Ôhmico	7
3 Materiais e Métodos	11
3.1 Polpa de Acerola	11
3.2 Caracterização da Polpa	11
3.3 Aquecimento Ôhmico	12
3.4 Análise do Teor de Antocianinas	16
3.5 Cinética de Degradação	17
3.6 Modelos Estatísticos	17
4 Resultados e Discussão	19
4.1 Caracterização da Polpa	19
4.2 Degradação de Antocianinas	19
5 Conclusões e Trabalhos Futuros	25
Referências	26

## **Agradecimentos**

Às minhas orientadoras, Júlia e Lígia, pelo auxílio e apoio na elaboração do trabalho.

Ao bolsista de iniciação científica, Paulo Watanabe, por toda a ajuda concedida na parte experimental.

Ao resto do pessoal do LATEPA, pelo companheirismo, dicas dadas e pelas vezes em que me emprestaram as chaves do laboratório para que eu conseguisse finalizar esse trabalho.

Aos meus pais, José Paulo e Suzana, por todo o amor dado incondicionalmente ao longo da minha vida.

À minha namorada, Ísis, por toda a alegria e música que ela trouxe consigo ao longo da elaboração desse trabalho.

Aos meus amigos, por me acompanharem até o final desse trajeto no curso de Engenharia Química.

Aos ótimos professores e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por todo o conhecimento fornecido ao longo do período de graduação.

## Resumo

Métodos de conservação de alimentos consistem na aplicação de um processamento em que a inativação de micro-organismos patogênicos e de enzimas responsáveis pela degradação é feita. Apesar dos tratamentos térmicos serem os mais empregados, o emprego de tecnologias alternativas vem sendo bastante estudado, buscando melhorar as propriedades nutricionais dos alimentos, que podem ser prejudicadas ao expô-los ao calor. O aquecimento ôhmico é um método de tratamento térmico que vem ganhando muito interesse, pois possibilita um aquecimento rápido e uniforme, gerando calor no interior do alimento; ele se baseia na passagem de corrente elétrica alternada através do alimento, que serve como um meio resistivo, transformando a energia elétrica passante em energia térmica. A acerola é uma fruta funcional com alta quantidade de antioxidantes, como o ácido ascórbico e as antocianinas, que são compostos de alto interesse, pois têm papel na prevenção de doenças como o câncer. O principal objetivo desse trabalho é investigar a influência da tensão elétrica aplicada na degradação de antocianinas monoméricas presentes na polpa da acerola submetida a um tratamento ôhmico. Para isso, é realizado um estudo da cinética de degradação, incluindo a escolha do modelo cinético que mais se adequa ao fenômeno nesse alimento. O sistema de aquecimento é constituído por uma fonte de energia, um sistema para aquisição de dados e uma célula ôhmica. Todos os experimentos foram conduzidos à temperatura de 80°C em uma célula ôhmica agitada e tiveram uma duração de 90 minutos. Foram realizados quatro experimentos com aquecimento ôhmico, onde se aplicaram as tensões de 25, 61, 75 e 83 V, além do aquecimento convencional, para estabelecer um comparativo onde os efeitos não-térmicos causados pela eletricidade são avaliados. O teor de antocianinas foi quantificado através do emprego do método do pH diferencial, com o emprego de um espectrofotômetro de UV-visível, enquanto que a determinação do modelo cinético se deu por métodos estatísticos. Dentre os experimentos, o aquecimento convencional foi o que apresentou menor degradação ao longo do tempo de tratamento, correspondente a 53%, enquanto que o emprego de maiores tensões resultou em uma maior degradação de 61%, quando aplicada uma tensão de 75 V. Os dados se ajustaram melhor ao modelo cinético de 1ª ordem. Por fim, concluiu-se que a aplicação de maiores tensões teve influência na degradação das antocianinas, assim como foi mostrado em outros estudos que propõem o surgimento de reações eletroquímicas que são responsáveis pela oxidação desses compostos.

**Palavras-chave:** aquecimento ôhmico, antocianinas, acerola, cinética, tensão, tratamentos térmicos.

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1:</b> Acerolas maduras.....	2
<b>Figura 2.2:</b> O cátion flavílio, base da cadeia carbônica de antocianinas e antocianidinas. $R_1$ e $R_2 = -H, OH$ ou $-OCH_3$ , $R_3$ e $R_4 = -H$ ou açúcares .....	4
<b>Figura 2.3:</b> As diferentes antocianidinas e a alteração na tonalidade dos pigmentos devido à cadeia carbônica .....	5
<b>Figura 2.4:</b> Diferentes configurações de aquecimento ôhmico. Adaptado de Goullieux & Pain (2005).....	9
<b>Figura 3.1:</b> Diagrama esquemático do sistema de aquecimento ôhmico, onde T é o sensor de temperatura, V é o medidor de tensão e A é o medidor de corrente elétrica .....	12
<b>Figura 3.2:</b> Interface gráfica do software utilizado para aquisição de dados no sistema de aquecimento ôhmico.....	13
<b>Figura 3.3:</b> Esquematização da vista superior da tampa da célula ôhmica, descrevendo o posicionamento dos eletrodos e dos termopares .....	14
<b>Figura 3.4:</b> Foto do sistema de mangueiras em um painel utilizado para o controle da temperatura na célula ôhmica. ....	14
<b>Figura 3.5:</b> Fotografia (a) do tratamento por aquecimento ôhmico da polpa de acerola em operação e (b) do sistema de aquisição de dados. ....	15
<b>Figura 4.1:</b> Rampa de aquecimento para os 5 experimentos realizados.....	20
<b>Figura 4.2:</b> Curva de degradação da cianidina-3-glicosídeo em função do tempo e da tensão aplicada.....	20

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 2.1:</b> Composição nutricional da acerola in natura e do suco não processado desta, por 100 g de fruto.....	3
<b>Tabela 3.1:</b> Dados de operação de cada experimento realizado em relação à tensão e temperatura do banho de resfriamento. ....	15
<b>Tabela 4.1:</b> Resultados das análises físico-químicas obtidos, onde os valores apresentados correspondem às médias das propriedades encontradas. ....	19
<b>Tabela 4.2:</b> Resultados da análise estatística para os 3 diferentes modelos cinéticos em relação aos 5 experimentos analisados, onde (a) é o modelo de primeira ordem, (b) é o modelo de ordem zero e (c) é corresponde à distribuição de Weibull.....	21
<b>Tabela 4.3:</b> Resultados para os parâmetros cinéticos obtidos em cada experimento.....	22

## Lista de Símbolos

$\varepsilon$  absorvidade molar ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ )

$\lambda_{vis-m\acute{a}x}$  comprimento de onda onde há maior absorvância (nm)

$\sigma$  condutividade elétrica do meio resistivo ( $S \cdot m^{-1}$ )

$\chi^2$  distribuição qui-quadrado

$a$  área dos eletrodos ( $m^2$ )

$A$  absorbância

$C(t)$  concentração de antocianinas no tempo  $t$  (mg/L)

$C_0$  concentração de antocianinas no tempo zero (mg/L)

$D$  valor  $D$  (min)

$E$  campo elétrico gerado entre o alimento na direção  $z$  ( $V \cdot cm^{-1}$ )

$E(\%)$  erro médio (%)

$FD$  fator de diluição

$I$  corrente elétrica (A)

$k$  constante cinética de degradação ( $min^{-1}$ )

$l$  comprimento do caminho óptico (cm)

$m$  número de amostras coletadas durante a elaboração da curva cinética

$m_{as}$  massa de amostra seca (g).

$m_{au}$  massa de amostra úmida (g)

$MM$  massa molar ( $g \cdot mol^{-1}$ )

$p$  número de parâmetros do modelo

$Q$  taxa de calor gerado (W)

$R$  resistência elétrica ( $\Omega$ )

$R^2$  coeficiente de determinação

$t$  tempo (min)

$t_{1/2}$  tempo de meia vida

$U$  diferença de potencial (V)

$V$  volume ( $m^3$ )

$x^w$  umidade da polpa (%)

$y_{exp}$  valor de  $C(t)/C_0$  ou  $(C(t)-C_0)$  obtido experimentalmente

$y_{pred}$  valor de  $C(t)/C_0$  ou  $(C(t)-C_0)$  predito pelo modelo cinético analisado

$z$  espaçamento entre os eletrodos (m)



### **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ACC – Ácido 1-Aminoacilciclopropano 1-Carboxílico

DEQUI – Departamento de Engenharia Química

HTST – Pasteurização rápida, com alta temperatura

IDR – Ingestão Diária Recomendada

LATEPA – Laboratório de Tecnologia e Processamento de Alimentos

LTLT – Pasteurização lenta, com baixa temperatura

S.E.M. – Erro padrão de médias



## **1 Introdução**

O mercado de alimentos é um dos que mais crescem no mundo e que precisa se moldar conforme o interesse da população. Com o aumento do interesse por alimentos saudáveis, é de interesse o desenvolvimento de tecnologias que permitam que o alimento mantenha as suas características naturais e que seus nutrientes não sofram danos causados pelo processamento, ao mesmo tempo em que se aumente a vida de prateleira dos mesmos. Tratamentos térmicos são os mais utilizados tradicionalmente: sua aplicação causa a inativação de enzimas que degradam o produto e de micro-organismos patogênicos, mas também pode provocar a degradação de componentes biológicos desejáveis.

A acerola é uma fruta de muito interesse devido ao seu valor nutricional: possui um baixo valor calórico e uma grande quantidade de antioxidantes como a vitamina C e as antocianinas. Esses compostos causam reações benéficas ao corpo humano, sendo de muita importância na prevenção de doenças como o câncer, porém eles apresentam a tendência de se degradarem quando se fornece calor ao sistema.

O aquecimento ôhmico é uma tecnologia que vem sendo aplicada nos últimos anos, servindo como alternativa para os tratamentos térmicos tradicionais; ele apresenta a vantagem de propiciar um aquecimento mais rápido e uniforme do alimento a ser tratado, e suas aplicações na prevenção das propriedades nutricionais dos alimentos vêm sendo cada vez mais avaliadas.

O trabalho presente tem como objetivo estudar a influência de diferentes tensões aplicadas no aquecimento ôhmico sobre a cinética de degradação das antocianinas monoméricas da polpa de acerola. Através de uma análise estatística, também se objetivou avaliar qual modelo cinético é o mais adequado para descrever a degradação desses compostos na polpa de acerola.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Acerola (*Malpighia Emarginata*)

A acerola, também chamada de cereja das Antilhas, é uma fruta carnosa, constituída de uma fina casca que, quando madura, pode ter diferentes tonalidades, abrangendo do amarelo ao vermelho ou roxo. A sua polpa tem tonalidade geralmente alaranjada (podendo ser tanto levemente quanto muito ácida) e, normalmente, contém três sementes (Junqueira *et al.*, 2002). A Figura 2.1 mostra uma imagem destes frutos quando maduros, bem como a aparência da polpa.



**Figura 2.1:** Acerolas maduras.

A acerola tem origem na América Central e na região mexicana banhada pelo mar das Antilhas (Mezadri *et al.*, 2006), a aceroleira é uma planta cujo cultivo em solo brasileiro se originou em 1955, quando a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) introduziu a produção dessa frutífera através de sementes vindas de Porto Rico. Nos anos 80, o país começou a cultivar a acerola comercialmente na região Nordeste, expandindo-se ao longo do tempo para as outras regiões (Ritzinger e Ritzinger, 2011). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de acerola do mundo (Mezadri *et al.*, 2006).

Graças à conscientização de consumidores ao longo dos anos, que vêm buscando melhores formas de manter uma alimentação saudável, a acerola – fruta de baixo valor calórico e rica em antioxidantes como a vitamina C e antocianinas – teve um aumento em sua demanda. A Tabela 2.1 fornece valores sobre os nutrientes presentes na acerola, tanto *in natura* quanto na forma de suco, comprovando o quão funcional é esse alimento: 100 g da fruta *in natura* fornecem 1677 mg de vitamina C, o que corresponde a 2796% da ingestão diária recomendada (IDR) para um adulto (Freitas *et al.*, 2006). Além do alto teor de vitamina C, destaca-se a presença da cianidina, pigmento da classe das antocianinas que confere o tom avermelhado característico da fruta (De Rosso *et al.*, 2008).

Além da sua venda *in natura*, a acerola pode ser comercializada na forma de sucos, polpas, geleias, sorvetes ou inclusive como um enriquecedor de vitamina C após ser misturada com outros sucos. Novos produtos vêm sendo testados à base da acerola, como xampus, cremes e gomas de mascar (Ritzinger e Ritzinger, 2011; Verheij e Coronel, 1992 *apud* Oliveira e Filho, 1998).

**Tabela 2.1:** Composição nutricional da acerola in natura e do suco não processado desta, por 100 g de fruto.

<b>Nutriente</b>	<b>Acerola in natura</b>	<b>Suco natural de acerola</b>
<b>Composição Centesimal</b>		
Água (g)	91,41	94,3
Proteínas (g)	0,4	0,4
Gorduras totais (g)	0,3	0,3
Cinzas (g)	0,2	0,2
Carboidratos, por diferença (g)	7,69	4,8
Fibras dietéticas totais (g)	1,1	0,3
<b>Energia</b>		
Energia (kcal)	32	23
Energia (kJ)	134	96
<b>Minerais</b>		
Cálcio (mg)	12	10
Ferro (mg)	0,2	0,5
Magnésio (mg)	18	12
Fósforo (mg)	11	9
Potássio (mg)	146	97
Sódio (mg)	7	3
Zinco (mg)	0,1	0,1
Cobre (mg)	0,086	0,086
Selênio (mg)	0,6	0,1
<b>Vitaminas</b>		
Vitamina C (mg)	1677,6	1600
Tiamina (mg)	0,02	0,02
Riboflavina (mg)	0,06	0,06
Niacina (mg)	0,4	0,4
Ácido Pantotênico (mg)	0,309	0,205
Vitamina B6 (mg)	0,009	0,004
Folato (µg)	14	14
Ácido Fólico (µg)	0	0
Vitamina B12 (µg)	0	0
Retinol (µg)	0	0
Vitamina A (IU)	767	509
<b>Lipídios</b>		
Ácidos graxos saturados totais (g)	0,068	0,068
Ácidos graxos monoinsaturados totais (g)	0,082	0,082
Ácidos graxos poliinsaturados totais (g)	0,09	0,09
Ácidos graxos trans totais (g)	0	0
<b>Antocianidinas</b>		
Cianidina (mg)	15,71	-
Pelargonidina (mg)	6,8	-

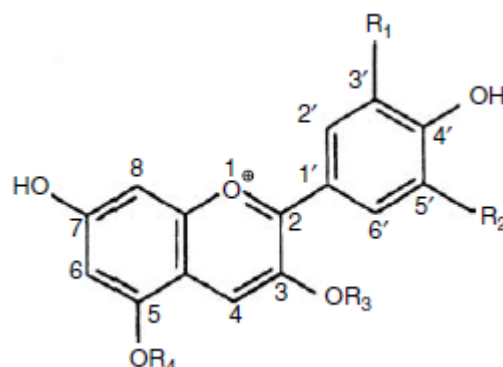
**Fonte: USDA (2015).**

## 2.2 Antocianinas

Dentre os grupos fenólicos encontrados na natureza, os flavonoides são um dos principais antioxidantes (Salgado, 2003). Essa propriedade desperta muito interesse do meio acadêmico voltado à área da saúde, visto que tais compostos podem ser importantes na prevenção e combate de algumas doenças. Pode-se explicar essa aplicação devido à crescente deficiência de antioxidantes em sistemas endógenos de proteção celular animal conforme envelhecemos, criando uma necessidade externa desses compostos para o organismo. A prevenção ocorre devido à redução de hidroperóxidos e de peróxido de hidrogênio, impedindo a formação de espécies oxigenadas reativas que são capazes de criar riscos à saúde (Aqil *et al.*, 2012).

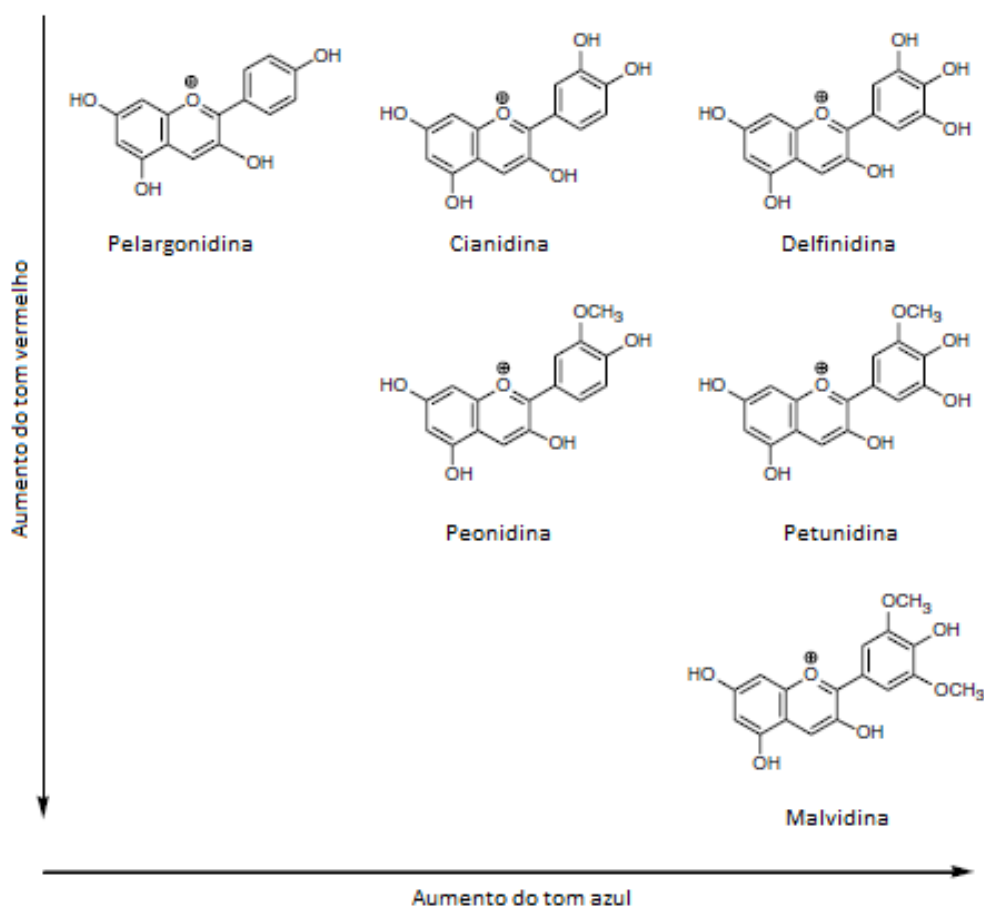
Segundo Fennema (2010), as antocianinas correspondem ao subgrupo de maior abundância dentre os flavonoides; são um grupo de pigmentos presente em uma grande variedade de plantas, sendo responsáveis pela coloração azul, roxa, violeta, magenta, vermelha e laranja em diversos frutos e vegetais. A palavra “antocianina” é derivada de duas palavras gregas: “anthos” (flor) e “kyanos” (azul).

A estrutura das antocianinas segue o mesmo padrão da cadeia carbônica dos flavonoides, portando um esqueleto no formato  $C_6C_3C_6$ . Como esses pigmentos estão presentes na natureza na forma de glicosídeos, há a ligação da molécula base com alguma cadeia característica dos açúcares. Quando uma antocianina sofre hidrólise ácida, esta libera o grupo glicosil, e o resto da molécula é conhecido como antocianidina, um tipo de aglicona (grupo resultante da substituição do glicosídeo por um átomo de hidrogênio). Existem mais de 600 tipos de antocianinas, mas apenas 30 tipos de antocianidinas, sendo que apenas 6 destas abrangem mais de 90% de todas as espécies encontradas na natureza, que são a pelargonidina, a cianidina, a peonidina, a delfinidina, a petunidina e a malvinidina (Liobikas *et al.*, 2016). A Figura 2.2 mostra a estrutura básica de uma antocianina e de uma antocianidina, o 2-fenilbenzopirílio do sal flavílio. Se um glicosídeo estiver ligado a um dos radicais do cátion flavílio, a molécula é uma antocianina (geralmente esta ligação ocorre nos radicais  $R_3$  ou  $R_4$ ), caso contrário, ela é uma antocianidina, sendo que estas não são encontradas separadas dos açúcares na natureza (Fennema, 2010).



**Figura 2.2:** Representação do cátion flavílio, base da cadeia carbônica de antocianinas e antocianidinas.  $R_1$  e  $R_2$  = -H, OH ou -OCH<sub>3</sub>,  $R_3$  e  $R_4$  = -H ou açúcares. Adaptado de Fennema (2010).

A excitação causada na molécula quando há incidência da luz visível resulta na cor característica de cada antocianina e antocianidina, sendo que o grau de excitação depende da mobilidade eletrônica dentro da cadeia carbônica. Um maior número de ligações duplas significa uma maior excitação molecular. A diferença na coloração em antocianidinas é resultado dos grupos auxocromos, no caso a hidroxila e o grupo metóxi, ligados à molécula, causando um efeito batocrômico (aumentando o comprimento de onda da banda de absorção da luz no espectro visível conforme esses radicais são adicionados). A Figura 2.3 apresenta os 6 diferentes tipos de antocianidinas previamente descritos e como as estruturas moleculares alteram a coloração do pigmento. Observando os substituintes nas posições R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> da molécula, é possível observar que um aumento de radicais metóxi causa um aumento no tom avermelhado, enquanto que a hidroxila em maior quantidade resulta num maior tom azul (Fennema, 2010).



**Figura 2.3:** As diferentes antocianidinas e a alteração na tonalidade dos pigmentos devido à cadeia carbônica. Adaptado de Fennema (2010).

Apesar de suas vantagens e aplicações na área da saúde, as antocianinas são moléculas instáveis. Diversos fatores já mostraram ter influência na degradação dos pigmentos: um maior número de grupos metóxi e de cadeias glicosídicas, por exemplo, acarreta no aumento da estabilidade. Entre as antocianidinas apresentadas na Figura 2.3, a malvidina é a antocianidina mais estável dentre as 6 destacadas. Além disso, as antocianinas diglicosídicas apresentam maior estabilidade quando comparadas com as monoglicosídicas. Dentre outros fatores, pode-se destacar variáveis externas como responsáveis por uma maior deterioração, destacando-se o pH (é preferível tornar o meio ácido ao se trabalhar com antocianinas), a temperatura e a presença de luz e de

oxigênio (que aceleram a degradação) (Escribano-Bailón, Santos-Buelga & Rivas-Gonzalo, 2004; Fennema, 2010).

Para o caso do tratamento com aquecimento ôhmico, a temperatura é uma variável que merece maior atenção, visto que esta é a que mais tem influência na degradação de antocianinas nesse processo. Ainda não há um modelo que explique o mecanismo de degradação térmica, porém já foi observado que o aquecimento desloca o equilíbrio no sentido de formação de outros flavonoides, as chalconas (que não são coloridas, então é possível perceber a degradação através da alteração da cor do produto). Além disso, a coumarina-3,5-diglicosídeo foi constatada como um produto comum da degradação de antocianinas (Fennema, 2010). Apesar do pouco conhecimento adquirido atualmente sobre esse mecanismo, pesquisadores acreditam que as antocianinas se decompõem através da formação de chalconas e glicosídeos de ácido coumárico ou formando derivados de aldeídos e ácido benzoico (Adams, 1973; Seeram, Bourquin & Nair, 2001; Sarkis, 2011).

### 2.3 Métodos de Tratamento Térmico

Segundo Gava (1998), muitos alimentos, tanto de origem vegetal quanto animal, têm a tendência de se degradarem rapidamente devido a ação de microrganismos. O único meio de se conservar um alimento é através de ações que impeçam as alterações do mesmo devido a ações desses agentes, seja pela eliminação (total ou parcial) dos mesmos ou pela supressão de fatores que tornariam o meio favorável ao crescimento, tais como a umidade, temperatura e o oxigênio disponível.

Apesar de suas vantagens nutricionais e da sua alta produtividade anual, a acerola é difícil de manusear e de armazenar após a sua colheita. Isso ocorre em decorrência do perfil climatérico da fruta, o que significa que, durante a maturação, há um aumento considerável da taxa de respiração e, conseqüentemente, da produção de etileno (responsável por acelerar a deterioração dos frutos) oriundo da oxidação do ácido 1-aminoacilciclopropano 1-carboxílico (também conhecido como ACC) através da ação da enzima ACC oxidase. Vale ressaltar que fatores externos favorecem a formação do etileno, como é o caso das infecções fúngicas, bacterianas e virais (Ritzinger e Ritzinger, 2011; Carvalho e Grolli, 1998; Cavalini, 2008; Chaves, 1997).

A dificuldade em se conservar esse alimento faz com que produtores busquem métodos de tratamento específicos para aumentar a sua vida de prateleira. Métodos térmicos são os mais comumente usados para estender a vida de sucos de frutas: a aplicação de calor se mostra efetiva na inativação de enzimas e de microrganismos que aceleram a degradação. Entretanto, a aplicação de métodos convencionais também acarreta na degradação de nutrientes e na alteração de características sensoriais da fruta, incentivando novas pesquisas para a otimização do tratamento com calor em relação ao tempo de exposição, bem como para a busca de tecnologias alternativas de conservação onde esse problema poderia ser contornado (Vegara *et al.*, 2013).



### 2.3.1 Método Convencional

A pasteurização é um método de tratamento térmico considerado brando, onde a temperatura não passa dos 100 °C. Outros métodos como a esterilização são caracterizados por utilizarem maiores temperaturas e, por isso, podem ser prejudiciais para sucos de frutas, já que a qualidade do produto e a degradação de seus nutrientes são funções dessa grandeza. A pasteurização, em contrapartida, é muito aplicada nesses casos para a eliminação de patógenos com baixa resistência térmica e para a inibição enzimática e de microrganismos deteriorantes, aumentando a vida de prateleira dos produtos. Ainda assim, como é um tratamento térmico, é necessária a monitoração constante da composição dos alimentos, visto que a temperatura pode resultar numa diminuição da concentração de componentes benéficos e da atividade biológica (Branco *et al.*, 2016).

O método convencional de pasteurização é através do contato do alimento com água quente ou vapor, e é classificado em duas categorias dependendo da temperatura e do tempo de tratamento:

- HTST (High Temperature, Short Time): método mais rápido de pasteurização, sendo mais adequado para produção industrial, podendo ser contínuo. Consiste na troca de calor operando em mais de 70°C por uma duração de poucos segundos;
- LTLT (Low Temperature, Long Time): método de pasteurização em que se deixa o alimento sendo tratado na faixa dos 60°C por períodos mais extensos; é menos utilizado industrialmente, sendo indicado para pequenos volumes.

Apesar de o HTST ser considerado efetivo, esse método pode resultar em um aquecimento não uniforme, pois a parte do alimento em contato com a superfície quente pode aquecer mais rápido do que o interior. Essa diferença térmica torna esse método inviável para a aplicação em alimentos que contêm partículas sólidas, já que o superaquecimento da parte externa das partículas pode acarretar em perdas na qualidade do produto. Para contornar esse problema, são buscadas novas tecnologias para realizar o tratamento térmico, surgindo alternativas como o aquecimento por micro-ondas, aplicação de radiações ionizantes e o aquecimento ôhmico (Sarkis, 2010; Gava, 1998; Achir *et al.*, 2015).

### 2.3.2 Aquecimento Ôhmico

O aquecimento ôhmico, que também é conhecido como aquecimento Joule, aquecimento por resistência, aquecimento eletrocondutivo ou aquecimento elétrico direto, é uma técnica de tratamento térmico que consiste na passagem de corrente alternada através de um alimento eletricamente condutivo. O alimento se aquece internamente devido à sua resistência elétrica, não dependendo de nenhuma superfície ou meio quente. A maior parte dos alimentos que requerem algum tipo de tratamento térmico pode ser considerada condutora de eletricidade, visto que esses possuem ácidos, sais e outros constituintes iônicos (Palaniappan & Sastry, 1991). Essa tecnologia pode ser vista como uma alternativa vantajosa em relação aos tratamentos convencionais, levando em consideração que os mesmos não são eficientes em alimentos com partículas sólidas suspensas (Palaniappan & Sastry, 1991; Castro, 2008).

Como o calor é gerado internamente durante o aquecimento ôhmico, menores gradientes de temperatura são gerados dentro de um mesmo produto quando comparados com a pasteurização convencional, muito dependente da troca por condução e convecção. Isso faz com que o tratamento ôhmico apresente uma grande vantagem: ele é uniforme termicamente, fazendo com que tanto a parte líquida quanto partículas sólidas internas se aqueçam a uma mesma taxa (Goullieux & Pain, 2005). Além disso, o aquecimento é muito mais rápido e se evita a queima de parte dos produtos, pois não há superfícies quentes envolvidas.

Segundo Ramaswamy *et al.* (2014), o aquecimento ôhmico também possui como vantagens em relação ao aquecimento convencional a geração de produtos de maior qualidade, em especial nos alimentos particulados (há menor degradação da textura, sabor e cor), o aumento percentual de partículas intactas devido à redução do cisalhamento, a redução da formação de incrustações e uma maior eficiência energética. A tecnologia de aquecimento ôhmico também apresenta algumas limitações: só é possível utilizar esse tratamento em alimentos com conteúdo iônico (não é possível realizar o tratamento em óleos, por exemplo) e a necessidade de substituir os eletrodos periodicamente devido à corrosão e aos altos níveis de ar no sistema podem causar defeitos nos mesmos, fazendo com que a produção seja paralisada até que a troca dos eletrodos seja efetivada.

O princípio matemático da geração de calor no aquecimento ôhmico foi descrito por Palaniappan & Sastry (1991), assumindo-se o alimento como puramente resistivo, e é mostrado na Equação 2.1, abaixo:

$$Q = I^2 \times R \quad (2.1)$$

onde  $Q$  é a taxa de geração de calor [W],  $I$  é a intensidade da corrente elétrica que passa através da amostra [A] e  $R$  é a resistência elétrica do alimento [ $\Omega$ ].

A Equação 2.2 correlaciona a resistência elétrica com a condutividade elétrica do alimento, bem como descreve a influência dos eletrodos utilizados no tratamento:

$$R = \frac{z}{a \times \sigma} \quad (2.2)$$

onde  $\sigma$  é a condutividade elétrica do alimento [ $S.m^{-1}$ ],  $a$  é a área dos eletrodos utilizados ou da seção transversal da amostra [ $m^2$ ] e  $z$  é a distância entre os eletrodos ou o comprimento do alimento [m].

Goullieux e Pain (2005) expandem esses conceitos básicos e, sendo  $U = R \times I$ , onde  $U$  é a diferença de potencial [V], pode-se aplicar a Equação 2.2 na Equação 2.1 e obter a Equação 2.3:

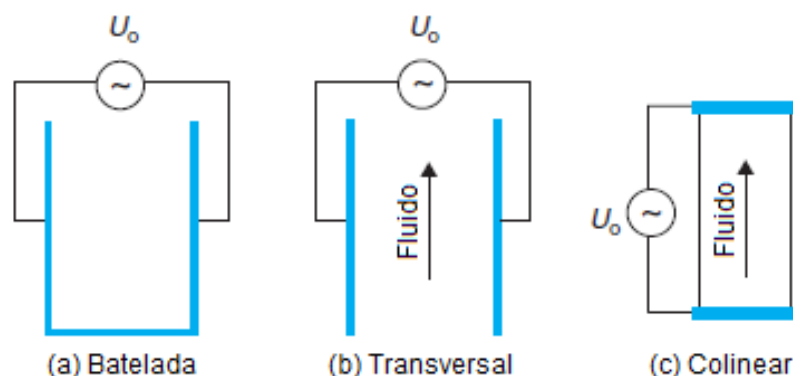
$$\Delta Q = \frac{\Delta U^2}{\Delta R} = \sigma \cdot E^2 \cdot \Delta a \cdot \Delta z = \sigma \cdot E^2 \cdot \Delta V \quad (2.3)$$

onde  $E$  é o campo elétrico gerado entre os eletrodos na direção  $z$  [V/m], perpendicular à área dos mesmos, obtido pela relação  $\Delta U = E \times \Delta z$  e  $V$  é o volume por onde há campo elétrico através do alimento.

A Equação 2.3 mostra que a taxa de calor gerada é proporcional ao quadrado do campo elétrico. Isso permite concluir que o aquecimento do alimento irá depender da tensão fornecida e também da distância entre os eletrodos, sendo inversamente proporcional à mesma. Além do campo elétrico, a condutividade elétrica do produto também é de grande importância ao tratamento, e é uma variável que depende da composição iônica, do movimento iônico e da viscosidade do alimento. Cabe ressaltar que todas essas propriedades são funções da temperatura e, portanto, a condutividade elétrica irá se alterar conforme o alimento é aquecido (Palaniappan & Sastry, 1991). Por fim, a área dos eletrodos também é importante para o processo, pois ela é proporcional ao aquecimento, sendo este um fator que deve ser levado em conta ao se realizar um aumento de escala no tratamento.

Goullieux & Pain (2005) classificaram o tratamento ôhmico em três diferentes configurações, que estão apresentadas na Figura 2.4. Em todos os modelos pode-se ver que há um alimento servindo como meio de condução entre os eletrodos, podendo estar no estado sólido ou líquido, bem como uma mistura bifásica. Os eletrodos estão em contato direto com o produto e estão posicionados paralelamente um ao outro. Os modos de operação são classificados conforme apresentado a seguir:

- Batelada: onde não há escoamento dentro da célula, é um processo descontínuo e que os eletrodos utilizados são coaxiais ou planos.
- Transversal: também conhecida como a configuração com campo elétrico constante, essa metodologia consiste numa célula ôhmica em que o alimento esco paralelamente aos eletrodos e perpendicularmente ao campo elétrico. Os eletrodos são geralmente planos ou coaxiais.
- Colinear: também conhecida como a configuração de densidade de corrente constante; nessa metodologia o alimento esco de um eletrodo para o outro, paralelamente ao campo elétrico e perpendicularmente aos eletrodos.



**Figura 2.4:** Diferentes configurações de aquecimento ôhmico. Adaptado de Goullieux & Pain (2005).

Além da inativação enzimática e de patógenos, outras aplicações para o aquecimento ôhmico vêm sendo encontradas no processamento de alimentos. Lakkakula *et al.* (2004) estudaram a variação do campo elétrico na extração de óleos do farelo de arroz e observaram que um aumento de 60 para 100 V/cm melhorava o rendimento da extração, sem alterar a temperatura do sistema. O mesmo artigo destaca que a aplicação de maiores tensões não causou um aumento da extração do óleo, e que

inclusive causou um decaimento em amostras com menor umidade, sugerindo que há um campo elétrico ótimo para extração.

Visto que muitos alimentos possuem compostos de interesse que têm a tendência a se degradar com o calor (compostos termolábeis), o estudo de Lakkakula *et al.* (2004) é de muita importância para a extração desses. O processo de extração tradicional é melhorado com o aumento da temperatura, o que causaria uma perda dos nutrientes por causa dessa condição. O aquecimento ôhmico surge então como uma alternativa para essa operação de separação, e o seu uso como substituto de métodos convencionais em processos térmicos que causariam a degradação de componentes (como o ácido ascórbico e as antocianinas) vem sendo cada vez mais estudado (Fennema, 2010).

### 3 Materiais e Métodos

A presente seção descreve os equipamentos e os procedimentos experimentais utilizados. Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia e Processamento de Alimentos (LATEPA) do Departamento de Engenharia Química (DEQUI) da UFRGS.

#### 3.1 Polpa de Acerola

A polpa de acerola utilizada no processo experimental foi da marca Mais Fruta (Antônio Prado, RS), comprada em um supermercado local. Cada pacote comprado continha quatro embalagens com 100 g de polpa. Para homogeneização, as amostras foram misturadas e separadas em porções de 200 g dentro de sacos plásticos, onde então foram seladas a vácuo para conservação. As amostras seladas foram colocadas em um freezer à -15 °C, para evitar degradação antes da utilização.

#### 3.2 Caracterização da Polpa

Esta etapa consiste na determinação de propriedades físico-químicas da polpa estudada a fim de confirmar se é possível estabelecer um comparativo com outros estudos que utilizaram a polpa de acerola como objeto de análise. Neste estudo, as propriedades analisadas foram a umidade, o pH e a condutividade elétrica.

A determinação da umidade foi feita utilizando um método gravimétrico. Através de uma balança analítica com precisão de 0,0001 g (BOSH, modelo SAE 200, Alemanha), pesou-se uma cápsula de alumínio contendo um bastão de vidro e 10 g de areia. A areia é necessária devido ao alto teor de açúcares em frutos que, em altas temperaturas, carameliza e cria uma superfície rígida que dificulta a saída da água do alimento. A areia evita a formação dessa camada e forma poros, solucionando esse efeito dos açúcares. A cápsula foi seca em estufa operando a 110°C por 2 horas e deixada em um dessecador por 30 minutos antes da pesagem, para garantir que não há umidade nos materiais. Após isso, foi adicionado 5 g da polpa de acerola ao conjunto, a amostra foi pesada, misturou-se com a areia com o auxílio do bastão de vidro e depois devolveu-se a cápsula à estufa. A amostra foi seca por um período de aproximadamente 16 h, sendo posteriormente resfriada e pesada.

A umidade foi determinada através das diferenças entre as massas de amostra seca e úmida, utilizando a Equação 3.1, e o resultado obtido é apresentado em porcentagem. Na Equação 3.1,  $x^w$  corresponde à umidade da polpa em base seca,  $m_{au}$  é a massa de amostra úmida e  $m_{as}$  é a massa de amostra seca (ambas em gramas).

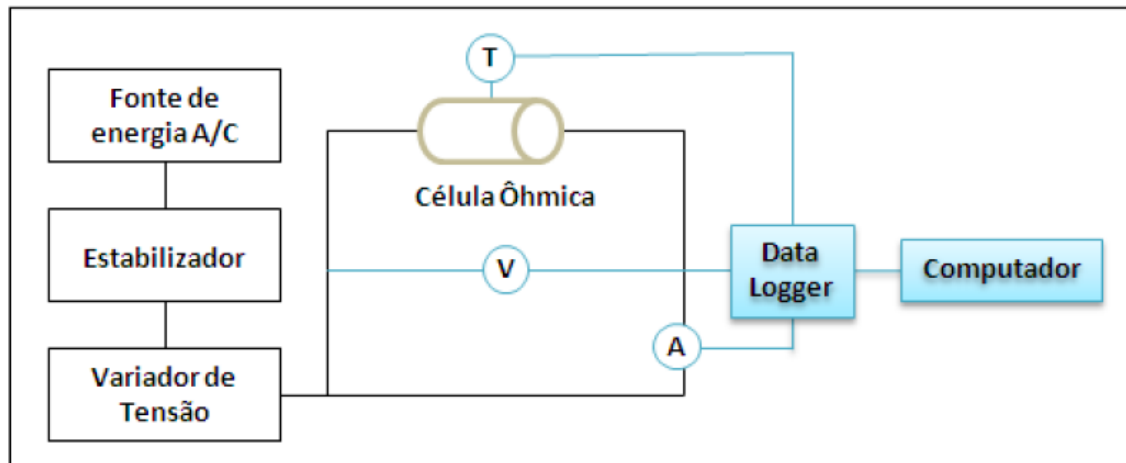
$$x^w = \frac{(m_{au} - m_{as})}{m_{as}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

As análises foram feitas em triplicata e, conhecendo a umidade, foi possível determinar o teor de sólidos totais.

O pH foi determinado usando um pHmetro (Digimed, modelo DM-22, Brasil) calibrado com duas soluções tampão, uma com pH igual a 4,00 e outra igual a 7,00, e a condutividade foi determinada usando um condutivímetro (Digimed, modelo DM-32, Brasil) também calibrado com o uso de uma solução padrão.

### 3.3 Aquecimento Ôhmico

O equipamento utilizado para o tratamento por aquecimento ôhmico é constituído por três partes: um sistema para fornecimento de energia, um para a aquisição dos dados coletados e uma célula ôhmica. A Figura 3.1 apresenta um diagrama esquemático do equipamento.

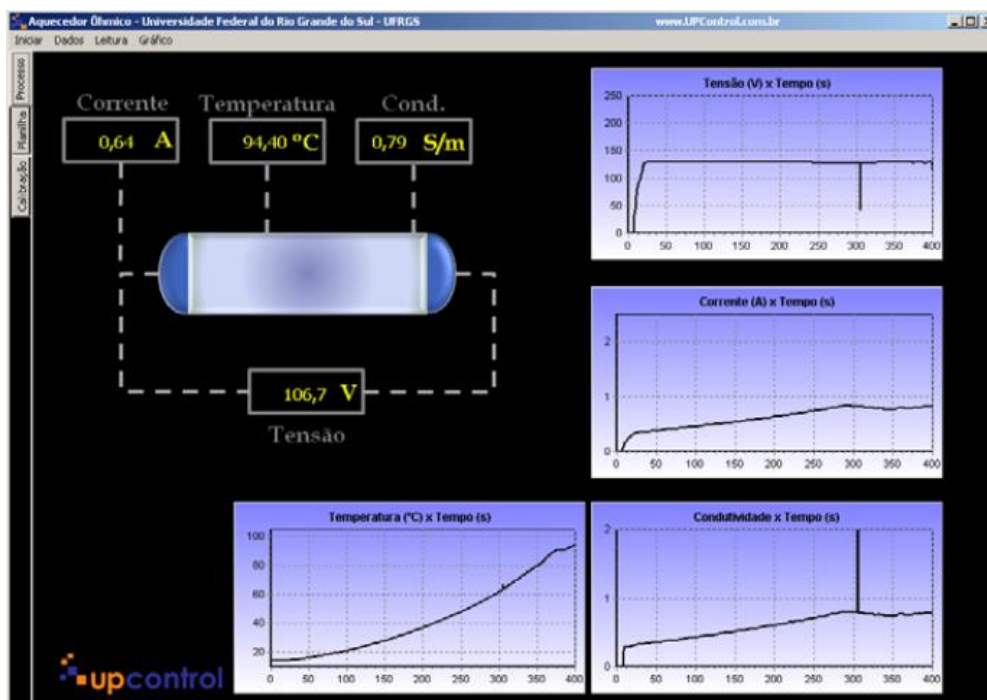


**Figura 3.1:** Diagrama esquemático do sistema de aquecimento ôhmico, onde T é o sensor de temperatura, V é o medidor de tensão e A é o medidor de corrente elétrica.  
Fonte: Sarkis (2011).

O sistema para fornecimento de energia é constituído por um estabilizador conectado à rede elétrica local, com uma corrente alternada com frequência de 60 Hz. O estabilizador foi conectado a um disjuntor e este a um variador de tensão (*Sociedade Técnica Paulista LTDA*, modelo Varivolt, Brasil), cujos limites de operação vão de 0 a 220 V.

Para a aquisição de dados, foi utilizado um módulo de aquisição e registro (*Novus*, modelo Field Logger, Brasil). Este sistema monitora e coleta dados relativos às seguintes variáveis: corrente elétrica, tensão e temperaturas dos termopares, com um intervalo de coleta de 0,6 s. A Figura 3.2 mostra a interface gráfica do programa onde foram armazenados os dados coletados.

A célula ôhmica é o recipiente que contem a amostra a ser aquecida; ela consiste em uma célula cilíndrica de vidro encamisada, com um formato semelhante a um copo de béquer, com a adição de dois bocais no encamisamento onde foram conectadas as mangueiras que carregam a água utilizada para controlar a temperatura do processo. A célula utilizada tem uma altura de 12,5 cm e um diâmetro interno de 8 cm.

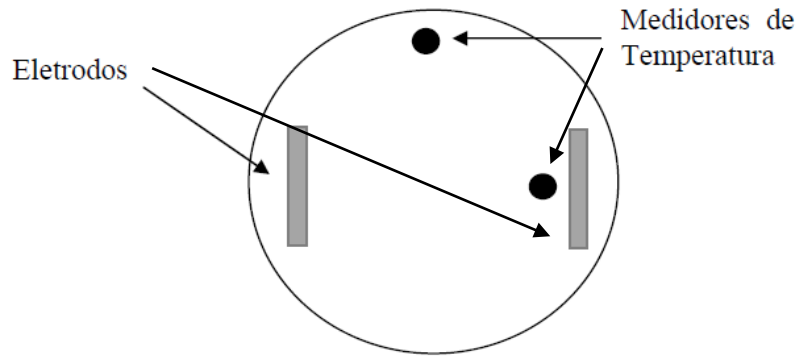


**Figura 3.2:** Interface gráfica do software utilizado para aquisição de dados no sistema de aquecimento ôhmico. Fonte: Sarkis (2011).

Cerca de uma hora antes de cada experimento, as amostras foram descongeladas. Para acelerar essa mudança de fase, as amostras foram colocadas em um béquer de plástico preenchido com água, aumentando a transferência de calor. O descongelamento se deu à temperatura ambiente e a água do recipiente foi frequentemente trocada até a polpa deixar o estado sólido.

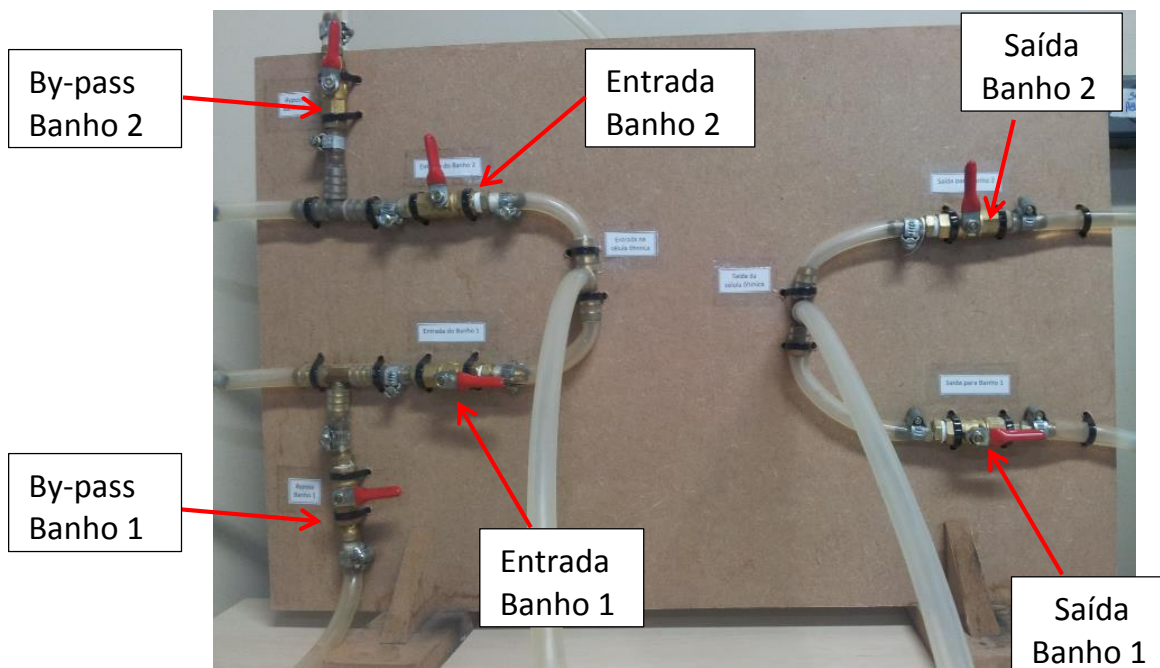
Após o descongelamento, 200 g de polpa foram colocados na célula ôhmica, que foi fixada sob um agitador magnético (*IKA*, modelo C-MAG HS 10, Brasil). A seguir, fechou-se a célula com uma tampa na qual estão inseridos tanto os eletrodos quanto os termopares. Utilizaram-se eletrodos coaxiais de titânio com 5 cm de altura. No topo de suas hastes são utilizados conectores para a passagem da corrente elétrica alternada vinda do variador de tensão. Os eletrodos foram separados por uma distância fixa de 6,7 cm, assim o campo elétrico dependeria apenas da tensão aplicada ao sistema. Os termopares de aço inoxidável foram colocados em diferentes pontos da célula ôhmica – um foi colocado próximo ao eletrodo e o outro próximo à parede da célula, como é esquematizado na Figura 3.3. Ambas as temperaturas precisam estar muito próximas quando a polpa for devidamente agitada, o que foi usado como um parâmetro para se comprovar a homogeneidade térmica do sistema. Há também um orifício maior na tampa por onde foram coletadas as amostras com uma pipeta de Pasteur.

Para controlar a temperatura da amostra, foram utilizados dois banhos termostáticos: um contendo água quente (Banho 1) e outro com água de resfriamento (Banho 2). Esses fluidos, com diferentes temperaturas, escoam através da camisa da célula ôhmica, permitindo que a polpa seja estabilizada na temperatura desejada. Para isto, foi utilizado um sistema de mangueiras e válvulas que permitissem uma troca rápida entre os dois banhos, o qual é mostrado pela Figura 3.4. O sistema permite a troca entre banhos sem ser necessário desconectar as mangueiras do encamisamento da célula. Enquanto um dos banhos é utilizado, o outro é mantido recirculando através da utilização de um sistema de *by-pass*.



**Figura 3.3:** Representação esquemática da vista superior da tampa da célula ôhmica, descrevendo o posicionamento dos eletrodos e dos termopares. Adaptado de Sarkis (2011).

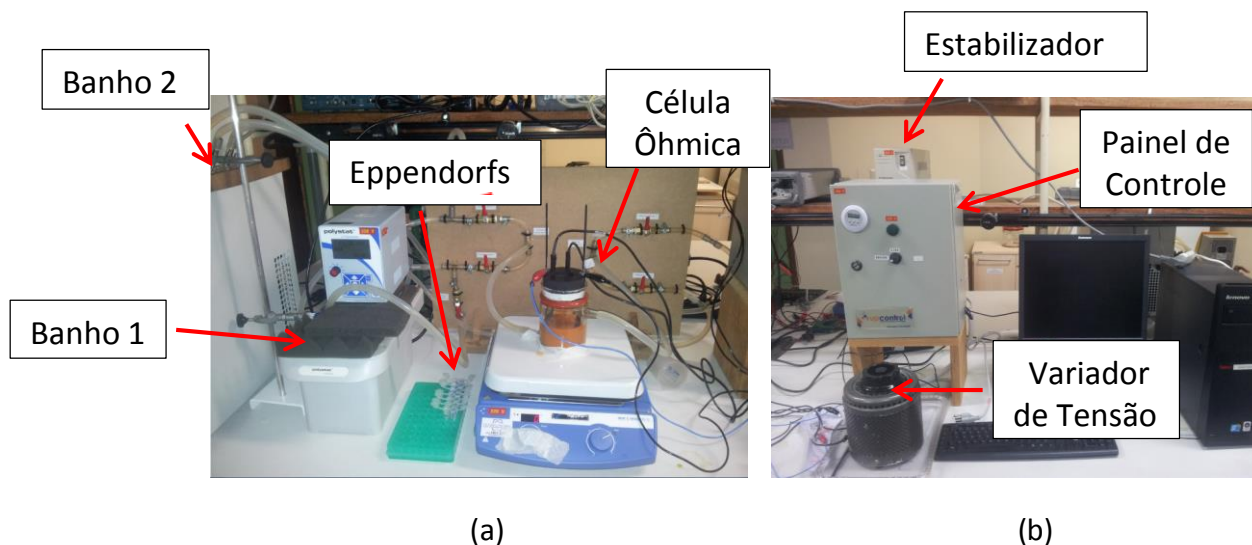
O experimento realizado nesse trabalho foi realizado com uma temperatura dentro da célula ôhmica igual a  $80 \pm 1$  °C. Para atingir essa temperatura, foi utilizado um banho quente com uma temperatura fixa ( $T_{quente}$ ) igual a 95°C. Esse banho foi utilizado até que se atingiu 78 °C. Nesse momento, abriu-se a válvula de *by-pass*, fecharam-se as válvulas de entrada e de saída do Banho 1 e foram abertas as válvulas do Banho 2. O aquecimento ôhmico foi ligado na tensão de trabalho do experimento quando a temperatura da amostra atingiu 79°C (nesse ponto ainda há um pequeno aumento de temperatura devido ao Banho 1, enquanto ocorre a troca de banhos), nesse ponto iniciou-se a contagem do tempo e foi feita a primeira coleta de amostra no tempo 0.



**Figura 3.4:** Fotografia do sistema de mangueiras em um painel utilizado para o controle da temperatura na célula ôhmica.



A Figura 3.5(a) é uma foto do sistema de aquecimento ôhmico do LATEPA, enquanto que a Figura 3.5(b) representa o sistema de aquisição de dados utilizado e o variador de tensão.



**Figura 3.5:** Fotografia (a) do tratamento por aquecimento ôhmico da polpa de acerola em operação e (b) do sistema de aquisição de dados.

Os experimentos para avaliação da degradação das antocianinas foram realizados ao longo de 90 min. Durante este período, amostras foram coletadas a cada 15 min. Em cada tempo de coleta, foram colocados 3,0 ml de polpa divididos em dois tubos tipo Eppendorf. Ambos foram devidamente selados e colocados em banho de gelo, evitando a degradação térmica. Após o fim dos experimentos, os Eppendorfs foram retirados do banho de gelo e armazenados na geladeira até o momento das análises. Para estabilizar a temperatura em 80°C, foram testadas diferentes combinações de temperaturas do Banho 2 ( $T_{frio}$ ) e de tensões elétricas. No presente trabalho foram realizados quatro experimentos com aquecimento ôhmico e um experimento com aquecimento convencional, no qual não foi aplicada tensão. A Tabela 3.1 mostra as diferentes combinações utilizadas para essas duas grandezas. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

**Tabela 3.1:** Dados de operação de cada experimento realizado em relação à tensão e temperatura do banho de resfriamento.

Tensão (V)	$T_{frio}$ (°C)
0 (Convencional)	81 ± 1
25 ± 1	75 ± 1
61 ± 1	44 ± 1
75 ± 1	26 ± 1
83 ± 1	3 ± 1

### 3.4 Análise do Teor de Antocianinas

A análise do teor de antocianinas foi baseada no método do pH diferencial para determinação de antocianinas monoméricas, descrito por Giusti & Wrolstad (2001) e foi realizada em triplicata. Separaram-se seis tubos Falcon por amostra: em três deles foram colocados 1500  $\mu\text{L}$  de uma solução tampão de cloreto de potássio com pH igual a 1,0 e nos outros três foi colocado o mesmo volume de uma solução tampão de acetato de sódio com pH igual a 4,5. As amostras foram retiradas da geladeira e centrifugadas por 4 minutos, em rotação máxima. Com as fases devidamente separadas, foi coletado o sobrenadante e colocado nos tubos Falcon (300  $\mu\text{L}$  por tubo) com solução tampão. Após preencher todos os tubos com as amostras, eles foram agitados e deixados para reagir por 15 minutos.

As amostras foram transferidas para cubetas (com uma distância do caminho ótico igual a 1 cm) para leitura em um espectrofotômetro de UV-visível (*Pró-Análise*, modelo UV-1600, Brasil). O método do pH diferencial define uma série de equações para o cálculo da concentração de antocianinas monoméricas. A Equação 3.2 mostra o cálculo da absorvância ( $A$ ) para uma amostra utilizando as medidas obtidas em 700 nm e no comprimento de onda onde há maior absorvância ( $A_{700}$  e  $A_{\lambda \text{ vis-máx}}$ , respectivamente) nas diferentes soluções tampão.

$$A = (A_{\lambda \text{ vis-máx}} - A_{700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{\lambda \text{ vis-máx}} - A_{700})_{\text{pH } 4,5} \quad (3.2)$$

A partir desse valor, é possível calcular a concentração de antocianinas monoméricas de acordo com a Equação 3.3.

$$C(\text{mg/L}) = \frac{A \cdot MM \cdot FD \cdot 1000}{\epsilon \cdot l} \quad (3.3)$$

onde  $A$  é a absorvância calculada pela Equação 3.2,  $MM$  é a massa molar da antocianina em questão,  $\epsilon$  é a absorvidade molar da antocianina no comprimento de onda desejado (em  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) e  $l$  é o caminho ótico em cm. O parâmetro  $FD$  é o fator de diluição, que corresponde à relação entre o volume total de amostra na cubeta (1800  $\mu\text{m}$ ) e o volume de amostra de antocianina (300  $\mu\text{m}$ ), o que resulta em um fator de diluição igual a 6,0.

É importante observar que os valores da massa molar, da absorvidade molar e do comprimento de onda de máxima absorção correspondem aos da antocianina predominante. De acordo com De Rosso *et al.* (2008), a cianidina-3-O-ramnosídeo é a antocianina predominante na acerola, porém não foram encontrados na literatura valores para a absorvidade molar deste pigmento. Neste caso, Giusti & Wrolstad (2001) sugerem que se considere a antocianina cianidina-3-glicosídeo como a majoritária. Esta possui uma massa molar igual a 449,2  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , uma absorvidade molar de 26900  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  e um  $\lambda_{\text{vis-máx}}$  de 510 nm.

### 3.5 Cinética de Degradação

Através dos dados obtidos de concentração de antocianinas nas amostras ao longo do tempo, foi realizado um estudo cinético com o objetivo de associar os experimentos com modelos já conhecidos de degradação. As Equações 3.4, 3.5 e 3.6 mostram os 3 modelos estudados: modelo de degradação de 1ª ordem, de ordem zero e modelo de Weibull, respectivamente (van Boekel, 2008).

$$\frac{C(t)}{C_0} = e^{-k.t} \quad (3.4)$$

$$C(t) - C_0 = -k.t \quad (3.5)$$

$$\frac{C(t)}{C_0} = e^{-b.t^n} \quad (3.6)$$

onde  $C(t)$  e  $C_0$  são as concentrações de antocianinas nos tempos  $t$  e zero, respectivamente,  $k$  e  $b$  são as constantes cinéticas para as suas respectivas ordens de reação, dadas pelas equações, e  $n$  é a ordem da reação para o modelo de Weibull. Foi utilizado o software Statistica 13 (Statsoft @, Tulsa, OK, USA) para a determinação das constantes das reações e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para cada modelo.

Outros parâmetros cinéticos medidos para avaliar a degradação de antocianinas no processo são o tempo de redução decimal (ou “valor D”) e o tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ). Ambos são medidas de tempo, sendo que o primeiro corresponde ao tempo necessário para degradar 90% do composto de interesse, enquanto que o segundo corresponde ao tempo para se degradar metade das antocianinas presentes na amostra. Os dois parâmetros são função do valor da constante cinética previamente calculada e eles podem ser calculados utilizando as Equações 3.7 e 3.8.

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad (3.7)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad (3.8)$$

### 3.6 Modelos Estatísticos

Todos os experimentos foram realizados em duplicata e cada análise de antocianinas monoméricas foi realizada em triplicata. Para a avaliação da adequação dos três modelos cinéticos propostos na seção 3.5, foram utilizados os parâmetros: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro percentual absoluto ( $E\%$ ), qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e *S.E.M.* (erro padrão de médias). Esses parâmetros, como exceção do  $R^2$  foram calculados usando as Equações 3.9, 3.10 e 3.11.

$$E(\%) = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{y_{exp} - y_{pred}}{y_{exp}} \right| \quad (3.9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (y_{exp} - y_{pred})^2}{(m - p)} \quad (3.10)$$

$$S.E.M. = \frac{\sum(y_{exp} - y_{pred})^2}{\sqrt{m}} \quad (3.11)$$

onde  $y_{exp}$  é o valor obtido experimentalmente,  $y_{pred}$  é o valor predito pelo modelo cinético analisado,  $m$  é o número de amostras coletadas durante a elaboração da curva cinética e  $p$  é o número de parâmetros do modelo.

Para comparação entre constantes cinéticas, tempos de meia vida e valores  $D$  obtidos nas diferentes tensões estudadas diferentes experimentos, foi realizada uma análise de variâncias (ANOVA) com o software Statistica 13. Os diferentes valores obtidos foram comparados através do Teste de Tukey com nível de significância de 5%. Essa comparação foi realizada apenas para o melhor dos modelos estudados.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Caracterização da Polpa

Os resultados obtidos em relação às propriedades físico-químicas da polpa de acerola estão apresentados na Tabela 4.1:

**Tabela 4.1:** Resultados das análises físico-químicas obtidos, onde os valores apresentados correspondem às médias das propriedades encontradas.

Propriedade	Valor
Umidade (% b.s.)	94,42 ± 0,01
pH a 25°C	3,52
Condutividade elétrica a 25°C (mS.cm <sup>-1</sup> )	3,71

A caracterização da polpa foi a última etapa realizada no processo experimental. As análises de umidade foram realizadas em triplicata, porém para o pH e a condutividade isto não pôde ser feito devido à escassez da polpa de acerola do mesmo lote disponível, então os resultados para esses parâmetros foram apresentados em apenas uma análise. Para esses dois parâmetros, os resultados obtidos foram 3,52 e 3,71 mS.cm<sup>-1</sup>, respectivamente, que são valores próximos aos encontrados na literatura (Chaves *et al.*, 2004; Mercali *et al.*, 2011).

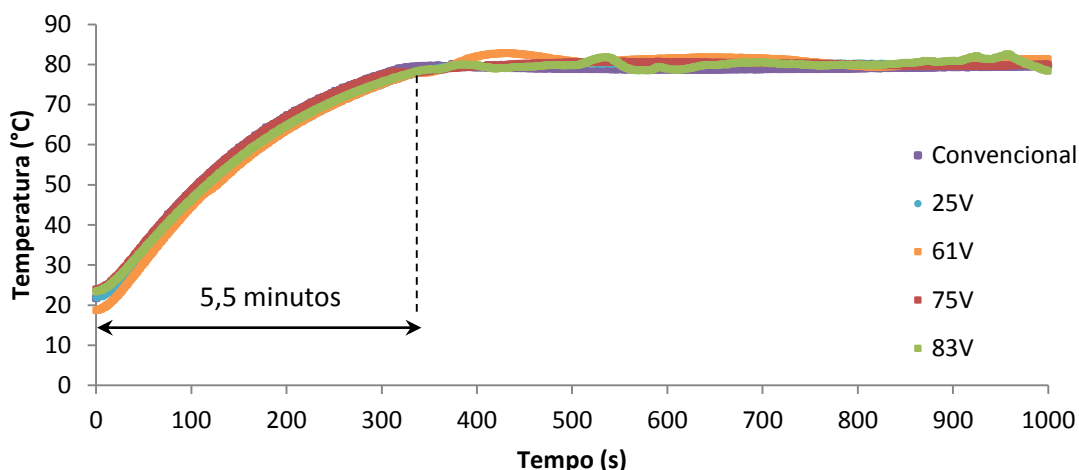
Como era esperado (comparando com os dados da Tabela 2.1), a polpa de acerola utilizada apresentou uma alta umidade, de média igual a 94,42%, um valor muito semelhante aos 94,3% do suco natural de acerola (USDA, 2015b). Vale ressaltar que a composição da acerola é dependente de diversos fatores, como a fertilidade do solo, o estágio de maturação, o clima no cultivo, entre outros (Folegatti e Matsuura, 2003).

### 4.2 Degradação de Antocianinas

Esta etapa consiste na quantificação das antocianinas monoméricas obtidas em cada experimento e na determinação dos parâmetros cinéticos da reação de degradação destas. Os modelos cinéticos foram utilizados buscando encontrar também um modelo conhecido que possa caracterizar o que ocorre no processo de degradação das antocianinas.

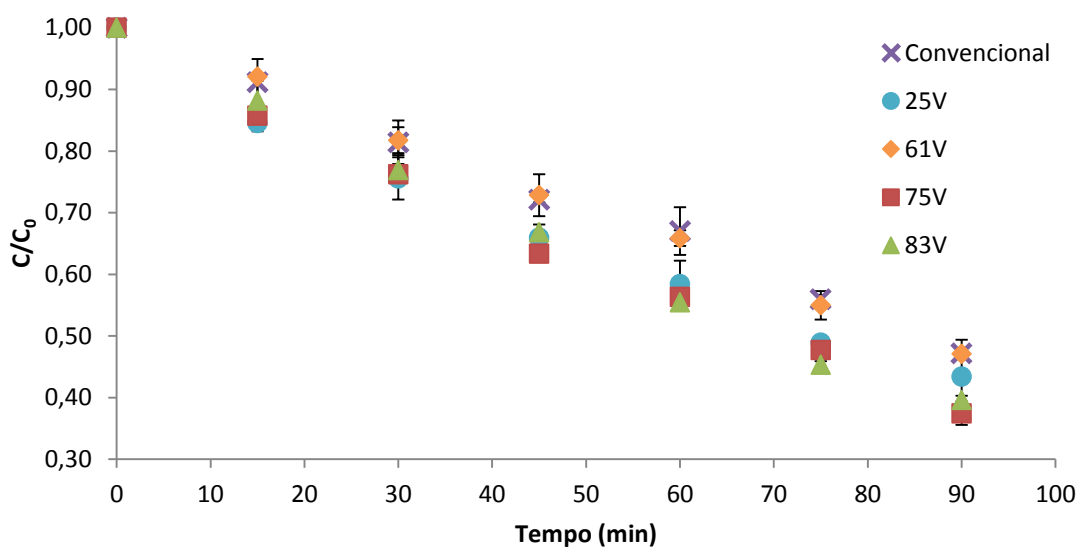
Como o principal objetivo do trabalho é estudar apenas a influência que a tensão elétrica tem sobre a degradação de antocianinas monoméricas, deseja-se que, em todos os experimentos, a polpa de acerola se aqueça a uma mesma taxa, através do aquecimento com o banho quente com temperatura fixada em 95°C, e que ela permaneça sem variações na temperatura especificada de 80°C após trocarmos para o banho frio e ligarmos o campo elétrico. A Figura 4.1 mostra a rampa de aquecimento dos diferentes experimentos até que essa temperatura seja detectada dentro da célula. Para facilitar a visualização da rampa, é mostrada apenas uma parte da curva de aquecimento, até 1000 segundos.

Como pode ser observado, todos os experimentos tiveram um aquecimento que durou aproximadamente 5,5 minutos até atingir a temperatura desejada. Após, o experimento prosseguiu por 90 minutos, onde nesse período a temperatura se manteve dentro da faixa desejada de 80 ± 1°C, sem muitas oscilações.



**Figura 4.1:** Rampa de aquecimento para os 5 experimentos realizados.

Os dados obtidos em relação à degradação das antocianinas monoméricas para as diferentes tensões aplicadas no aquecimento ôhmico podem ser vistos na Figura 4.2, que apresenta a concentração, dividida pela concentração inicial, em função do tempo, durante os 90 min de experimento.



**Figura 4.2:** Curva de degradação da cianidina-3-glicosídeo em função do tempo e da tensão aplicada.

Como pode ser observado, há degradação de antocianinas ao longo do processo de aquecimento ôhmico. No presente experimento, ao fim dos 90 min de tratamento, o maior percentual de degradação das antocianinas foi observado na tensão de 75 V e foi de 61%; o menor percentual de degradação, por sua vez, foi observado no tratamento convencional e foi de 53%.

Os valores de  $k$ , de  $b$  (no caso da distribuição de Weibull) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram obtidos pela análise dos dados de  $C(t)$  e  $C_0$  em função do tempo no *software* Statistica 13, utilizando as Equações 3.4, 3.5 e 3.6 como modelos. A partir das constantes cinéticas obtidas, foi possível calcular os valores preditos da relação  $C(t)/C_0$ , para os modelos de primeira ordem e de Weibull, e  $(C(t)-C_0)$ , para o caso

do modelo de ordem zero. Conhecendo, tanto os valores experimentais, quanto os preditos, foram obtidos então os parâmetros de adequação dos modelos usando as Equações 3.9, 3.10 e 3.11. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2:** Resultados da análise estatística para os 3 diferentes modelos cinéticos em relação aos 5 experimentos analisados, onde (a) é o modelo de primeira ordem, (b) é o modelo de ordem zero e (c) é corresponde à distribuição de Weibull.

(a)

EXPERIMENTO	$R^2$	$E(\%)$	$\chi^2 \times 10^4$	$S.E.M. \times 10^3$
<b>Convencional</b>	0,98	2,75	5,32	1,21
25 V	1,00	1,06	1,35	0,31
61 V	0,98	3,11	5,97	1,35
75 V	0,99	2,21	2,88	0,65
83 V	0,99	2,68	4,20	0,95
<b>MÉDIA</b>	<b>0,99</b>	<b>2,36</b>	<b>3,94</b>	<b>0,89</b>

(b)

EXPERIMENTO	$R^2$	$E(\%)$	$\chi^2 \times 10^4$	$S.E.M. \times 10^3$
<b>Convencional</b>	1,00	2,90	2754	625
25 V	0,97	13,18	24253	5500
61 V	1,00	3,11	1359	308
75 V	0,99	8,99	13800	3129
83 V	0,99	4,93	7430	1685
<b>MÉDIA</b>	<b>0,99</b>	<b>6,62</b>	<b>9919</b>	<b>2249</b>

(c)

EXPERIMENTO	$R^2$	$E(\%)$	$\chi^2 \times 10^4$	$S.E.M. \times 10^3$
<b>Convencional</b>	0,99	1,47	2,50	0,47
25 V	1,00	1,29	1,29	0,24
61 V	1,00	0,97	1,08	0,20
75 V	1,00	2,14	2,43	0,46
83 V	1,00	1,05	0,84	0,16
<b>MÉDIA</b>	<b>1,00</b>	<b>1,38</b>	<b>1,63</b>	<b>0,31</b>

Como se deseja baixos valores para os parâmetros  $E(\%)$ ,  $\chi^2$  e  $S.E.M.$ , o modelo de ordem zero (cujos parâmetros estatísticos são mostrados na Tabela 4.2(b)) não foi considerado como ideal, devido aos seus altos valores nesses critérios em comparação com os outros dois modelos. O modelo de Weibull foi o que mais se adequou à degradação de antocianinas monoméricas na polpa de acerola, obtendo menores erros em comparação com a reação de primeira ordem. Entretanto, essa diferença entre os dois modelos foi de baixa grandeza, conforme pode ser observado nas Tabelas 4.2(a) e 4.2(c) (Weibull apresentou apenas 0,98% a menos de erro percentual médio e valores de  $\chi^2$  e  $S.E.M.$  menos de 0,001% menores que os do modelo de primeira ordem). O modelo de Weibull apresenta dois parâmetros,  $b$  e  $n$ , e o modelo de primeira ordem apenas um,  $k$ , assim, considerando a maior praticidade matemática de se utilizar uma cinética de primeira ordem, esse foi o modelo escolhido para o cálculo dos parâmetros cinéticos  $D$  e  $t_{1/2}$  e para a comparação das tensões usadas. A baixa diferença entre os

dois modelos pode ser comprovada pelo valor médio da ordem de reação  $n$  do modelo de Weibull, que é muito próximo de 1, pois os valores de  $n$  variaram de 0,9559 a 1,2338 nos experimentos realizados. Outros estudos realizados que concluíram que a utilização do modelo de primeira ordem é a mais adequada para descrever a degradação de antocianinas em polpas e sucos de diversas frutas, como o morango, ginja, açaí, amora e acerola (Mercali *et al.*, 2012; De Rosso & Mercadante, 2007; Patras *et al.*, 2010).

A Tabela 4.3 mostra os resultados obtidos através do uso do Statistica 13 para as constantes cinéticas de primeira ordem em relação às diferentes tensões aplicadas em cada experimento, bem como também traz os resultados dos outros parâmetros cinéticos de interesse para esse estudo.

**Tabela 4.3:** Resultados para os parâmetros cinéticos obtidos em cada experimento\*.

Tensão (V)	k (min <sup>-1</sup> )	D (min)	t <sub>1/2</sub> (min)
Convencional	0,0075 ± 0,0004 <sup>a</sup>	306,87 ± 16,58 <sup>a</sup>	92,38 ± 4,99 <sup>a</sup>
25 ± 1	0,0093 ± 0,0004 <sup>b</sup>	246,77 ± 10,30 <sup>b</sup>	74,29 ± 3,10 <sup>b</sup>
61 ± 1	0,0076 ± 0,0004 <sup>a</sup>	304,19 ± 17,80 <sup>a</sup>	91,57 ± 5,36 <sup>a</sup>
75 ± 1	0,0100 ± 0,0000 <sup>b</sup>	229,35 ± 0,97 <sup>b</sup>	69,04 ± 0,29 <sup>b</sup>
83 ± 1	0,0098 ± 0,0003 <sup>b</sup>	234,37 ± 6,51 <sup>b</sup>	70,55 ± 1,96 <sup>b</sup>

\*Mesmos índices sobrescritos para valores em uma mesma coluna significam que estes não são estatisticamente diferentes, segundo o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

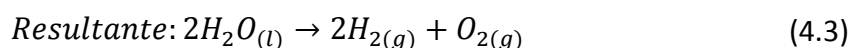
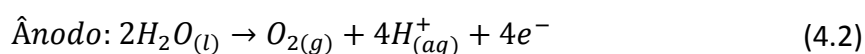
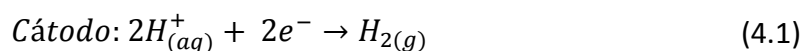
A análise dessa tabela mostra que o tratamento convencional teve a menor constante cinética da reação de degradação de antocianinas monoméricas, enquanto que os experimentos de aquecimento ôhmico com maiores tensões foram os que apresentaram a maior degradação, destacando como a tensão pode influenciar a estabilidade dos pigmentos. Os valores  $D$  e o tempo de meia vida do aquecimento convencional também foram os maiores encontrados, tendo-se uma diferença superior à uma hora para degradar 90% das antocianinas quando comparado com experimentos com tensões mais elevadas.

No presente trabalho, foi observado que a aplicação de uma tensão de 25 V degradou significativamente mais antocianinas monoméricas do que o aquecimento convencional. Em contrapartida, a tensão de 61 V não apresentou diferenças significativas do tratamento convencional, com ambos apresentando parâmetros cinéticos muito próximos. Esse comportamento foi inesperado, e deve ser resultado de erros experimentais ou da polpa utilizada, e os experimentos com essas duas tensões devem ser repetidos para que seja obtido um estudo mais conciso sobre a influência da tensão na degradação das antocianinas. Mercali *et al.* (2013), ao comparar a degradação de antocianinas na polpa de acerola entre o aquecimento convencional e o ôhmico com uma tensão de 25 V para uma temperatura de processamento igual a 80°C, não obteve valores significativamente diferentes pelo teste de Tukey, ao contrário do que foi apresentado no trabalho presente. O experimento com 25 V foi um dos últimos a serem realizados, mas como as polpas foram armazenadas à -18°C, foi descartada a hipótese de que ela tenha se degradado previamente devido ao armazenamento (Ancos *et al.*, 2000).



Uma das potenciais causas para a degradação de antocianinas em um sistema de aquecimento ôhmico é a geração de reações eletroquímicas quando se aplica um campo elétrico através do alimento. Assiry, Sastry e Samaranayake (2003), ao estudar a degradação do ácido ascórbico em um sistema de aquecimento ôhmico, propuseram que o contato dos eletrodos com o alimento é responsável pelo surgimento de efeitos eletrolíticos, destacando dois mecanismos para a eletrólise:

- Eletrólise da água: Por esse mecanismo, a geração de oxigênio aumenta com o aquecimento ôhmico e causa oxidação adicional do ácido ascórbico. As reações de eletrólise podem ser vistas pelas Equações 4.1, 4.2 e 4.3.



- Corrosão dos eletrodos: por esse mecanismo, há a formação de íons metálicos derivados do eletrodo, que podem ser posteriormente oxidados e ocasionar reações secundárias. No experimento realizado por Assiry, Sastry e Samaranayake (2003), foi utilizado aço inoxidável, portanto, a reação de eletrólise pode liberar íons  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ , entre outros, no ânodo.

No presente estudo, o aumento do campo elétrico acarretou no surgimento de bolhas de ar ao redor da polpa e dos eletrodos, o que foi detectado visualmente durante o processo. Qihua, Jindal e Van Winden (1993) também observaram isso no tratamento do suco de laranja, destacando que estas bolhas podem ser resultado de reações eletroquímicas (como as descritas anteriormente para a eletrólise da água, onde há geração do oxigênio gasoso) e são uma potencial causa para a degradação de nutrientes.

A aplicação das maiores tensões, de 75 V e de 83 V, resultou em uma maior degradação de antocianinas monoméricas quando comparadas com o tratamento convencional. Mercali *et al.* (2012) também encontrou dados semelhantes na degradação de vitamina C na polpa de acerola, observando que um aumento da tensão aplicada resultou no aumento das reações eletroquímicas presentes, que podem afetar a estabilidade do ácido ascórbico e catalisar a degradação na presença de oxigênio; é possível traçar um paralelo entre a degradação de antocianinas e do ácido ascórbico, pois ambos são compostos antioxidantes e que sofrem as mesmas reações de oxidação que o ácido ascórbico (Skrede *et al.*, 2000).

Sarkis *et al.* (2013), ao estudar a influência do campo elétrico na degradação das antocianinas na polpa do mirtilo, também observaram que o aumento da tensão resultou na diminuição da concentração de pigmentos (para um mesmo teor de sólidos totais, foi obtida uma degradação de 5,7% em uma tensão de 160 V e uma de 14,7% a 240 V). Os autores concluíram que há o surgimento de reações eletroquímicas no sistema que são catalisadas conforme se aumenta a tensão aplicada. Para baixas

tensões, a degradação foi a mesma ou até menor em alguns casos do que para o tratamento convencional, onde a degradação foi de 7,2%.

Mesmo que no presente trabalho tenham sido utilizados eletrodos de titânio, que é considerado um metal resistente à corrosão, pode ter ocorrido um efeito de corrosão tanto nos eletrodos quanto nos termopares de aço inoxidável, liberando íons metálicos que influenciariam na degradação. Íons  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , por exemplo, são conhecidos por servirem como catalisador na oxidação do ácido ascórbico (Fennema, 2010). Uma forma de reduzir a corrosão dos eletrodos seria através do revestimento destes com platina, que é um metal inerte que fornece uma maior resistência à corrosão. Entretanto, vale-se ressaltar que essa operação é de alto custo (Samaranayake, 2003).

Mercali *et al.* (2014), ao estudar o efeito da frequência do campo elétrico na degradação de ácido ascórbico na polpa de acerola em um sistema de aquecimento ôhmico, concluíram que este parâmetro tem influência na degradação de componentes; foi observado que em baixas frequências de campo elétrico (10 Hz), a degradação de vitamina C foi maior devido a reações eletroquímicas. Quando foram aplicadas frequências maiores que 100 Hz, essas reações foram minimizadas, diminuindo a degradação, cuja cinética apresentou comportamento semelhante ao aquecimento convencional. Como no presente estudo foi utilizada uma frequência de 60 Hz, acredita-se que um aumento dessa variável seria benéfico ao tratamento.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O presente trabalho realizou um estudo da cinética de degradação das antocianinas monoméricas presentes na polpa de acerola através de um tratamento por aquecimento ôhmico. Os dados obtidos são referentes aos experimentos onde se alterou a tensão aplicada na célula ôhmica, mantendo-se a temperatura constante. Foi também feito um tratamento convencional (sem corrente elétrica) a fim de estabelecer um comparativo com os outros resultados obtidos, assim estabelecendo uma avaliação de efeitos não-térmicos no produto.

A aplicação das maiores tensões experimentais (de 75 e 83 V) resultou em uma maior degradação de antocianinas monoméricas do que o aquecimento convencional; especula-se que o aumento da tensão possa estar relacionado com o surgimento de reações eletroquímicas que seriam responsáveis pela degradação dos pigmentos. Essas reações podem ser decorrentes do material dos eletrodos e dos termopares presentes, bem como da eletrólise da água.

Com base nos resultados obtidos, foram feitas análises do coeficiente cinético com parâmetros estatísticos, para determinar qual dos modelos cinéticos propostos seria o mais adequado. A cinética de ordem zero foi logo descartada devido aos seus altos valores de  $\chi^2$  e de S.E.M., enquanto que a distribuição de Weibull, apesar de apresentar baixos erros, foi desconsiderada por apresentar maior complexidade no cálculo do que a cinética de 1ª ordem, para pouca melhoria nos resultados. A cinética de 1ª ordem se mostrou adequada nas análises estatísticas e foi a escolhida como modelo de degradação das antocianinas monoméricas em polpa de acerola, confirmando dados encontrados na literatura.

As tensões de 25 e 61 V apresentaram comportamento inesperado, com a segunda não apresentando degradação diferente da cinética do tratamento convencional, enquanto que a primeira apresentou uma maior degradação. Esses experimentos serão realizados novamente para conferir se os dados encontrados estão corretos.

Para trabalhos futuros, sugere-se a mudança dos materiais dos eletrodos de titânio utilizados por outros mais inertes, com a adição de platina na superfície. A frequência do campo elétrico também se mostrou uma variável importante segundo a literatura encontrada. Repetir o mesmo estudo com uma frequência mais elevada poderia se mostrar benéfico e diminuir a degradação de antocianinas monoméricas na polpa de acerola.

## Referências

- ACHIR, N. *et al.* Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. **Innovative food science and emerging technologies**, 2016. v. 33, p. 397–404.
- ADAMS, J. B. Thermal degradation of anthocyanins with particular reference to the 3-glycosides of cyanidin. i. in acidified aqueous solution at 100 °C. **Journal of the science of food and agriculture**, 1973. v. 24, n. 7, p. 747–762.
- AQIL, F. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of anthocyanin/ellagitannin-enriched extracts from *Syzygium cumini* L. (jamun, the Indian blackberry). **Nutrition and cancer-an international journal**, 2012. v. 64, n. 3, p. 428–438.
- ASSIRY, A.; SASTRY, S. K.; SAMARANAYAKE, C. Degradation kinetics of ascorbic acid during ohmic heating with stainless steel electrodes. **Journal of applied electrochemistry**, 2003. v. 33, n. 2, p. 187–196.
- BRANCO, I. G. *et al.* Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial crops and products**, 2016. v. 89, p. 225–230.
- CASTRO, I. Aquecimento ôhmico: Novas tecnologias de processamento alimentar. **Segurança e qualidade alimentar**, n. 4, p. 38–39, 2008.
- CASTRO, I. *et al.* The effect of electric field on important food-processing enzymes: comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. **Journal of food science c: food chemistry and toxicology**, 2006. v. 69, n. 9, p. C696–C701.
- CARVALHO, R. I. N. De; GROLLI, P. R. Patógenos na frigoconservação de acerolas (*Malpighia glabra* L.). **Revista brasileira agrociência**, 1998. v. 4, n. 1, p. 31–34.
- CAVALINI, F. C. **Fisiologia do amadurecimento, senescência e comportamento respiratório de goiabas 'Kumagai' e 'Pedro Sato'**. 2008. 90p. (Tese de Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CHAVES, M. Da C. V. *et al.* Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de biologia e ciências da terra**, 2004. v. 4, n. 2, p. 1–10.
- DAROIT, D. J.; SANT'ANNA, V.; BRANDELLI, A. Kinetic stability modelling of keratinolytic protease p45: influence of temperature and metal ions. **Applied biochemistry and biotechnology**, 2011. v. 165, n. 7–8, p. 1740–1753.
- DE ANCOS, B. *et al.* Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. **Journal of agricultural and food chemistry**, 2000. v. 48, n. 3, p. 873–879.
- DE ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Evaluation of colour and stability of anthocyanins from tropical fruits in an isotonic soft drink system. **Innovative food science and emerging technologies**, 2007. v. 8, n. 3, p. 347–352.

DE ROSSO, V. V. *et al.* Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açai (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC-PDA-MS/MS. **Journal of food composition and analysis**, 2008. v. 21, n. 4, p. 291–299.

ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; SANTOS-BUELGA, C.; RIVAS-GONZALO, J. C. Anthocyanins in cereals. **Journal of chromatography A**, 2004. v. 1054, n. 1-2, p. 129–141.

FDA. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies - Ohmic and inductive heating. 9p. 2000.

FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**: CRC Press. 1144p. 2010.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. U. Produtos. In: R. Ritzinger, *et al.*, (Ed.). **A cultura da aceroleira**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura 2003. Produtos, 198p.

FREITAS, C.A.S. *et al.* Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, n.4, p.395-400, 2006.

GAVA, A.J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. NOBEL. 284p. 1998.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. In: (Ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**: John Wiley & Sons, Inc, 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy.

GOULLIEUX, A.; PAIN, J. P. Ohmic Heating. In: D.-W. Sun (Ed.). **Emerging Technologies for food processing**. Italy: Elsevier Academic Press, 2005. Ohmic Heating. 549p.

JUNQUEIRA, K.P. *et al.* Cultura da acerola. Lavras: **UFLA**, 2004. 27 p.

LAKKAKULA, N. R.; LIMA, M.; WALKER, T. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. **Bioresource technology**, 2004. v. 92, n. 2, p. 157–161.

LIOBIKAS, J. *et al.* Anthocyanins in cardioprotection: a path through mitochondria. **Pharmacological research**, 2016.

MERCALI, G. D. *et al.* Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of food engineering**, 2011. v. 106, n. 4, p. 283–289.

MERCALI, G. D. *et al.* Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. **LWT - Food Science and Technology**, 2012. v. 47, n. 1, p. 91–95.

MERCALI, G. D. **Tratamento térmico de polpa de acerola via aquecimento ôhmico**. 2013. 252p. (Doutorado). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MERCALI, G. D. *et al.* Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: comparison between ohmic and conventional heat treatment. **Food chemistry**, 2013. v. 136, n. 2, p. 853–857.

MERCALI, G. D. *et al.* Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: effect of electric field frequency. **Journal of food engineering**, 2014. v. 123, n. 2014, p. 1–7.

MEZADRI, T. *et al.* **El fruto de la acerola: composición y posibles usos alimenticios**. Alan, Caracas, v.26, n.2, p.101-109, 2006.

OLIVEIRA, J. R. P.; SOARES FILHO, W. S. Situação da cultura da acerola no brasil e ações da embrapa mandioca e fruticultura em recursos genéticos e melhoramento. **Simpósio de recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste do brasil**, 1998. p. 16.

PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S. K. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. **Journal of food process engineering**, 1991. v. 14, p. 247–260.

PATRAS, A. *et al.* Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in food science and technology**, 2010. v. 21, n. 1, p. 3–11.

QIHUA, T.; JINDAL, V.K.; VAN WINDEN, J. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for liquid foods. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.9, p. 243-253, 1993.

RAMASWAMY, H. S. *et al.* **Ohmic Heating in Food Processing**: Taylor & Francis Group, LLC 2014.

RITZINGER, R.; RITZINGER, C.H.S.P. Acerola. In: SANTOS-SEREJO, J.A. *et al.* (Eds.). **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 59-82.

SALGADO, J. M. *et al.* O emprego de amora, framboesa, mirtilo e morango na redução do risco de doenças. **1º Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas**, p. 64. 2003.

SARKIS, J. R. **Construção de um Sistema de Aquecimento Ôhmico e sua Aplicação no Tratamento Térmico da Polpa de Mirtilo**. 2011. 132p. (Mestrado). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SARKIS, J. R. *et al.* Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. **LWT - Food Science and Technology**, 2013. v. 51, n. 1, p. 79–85.

SAMARANAYAKE, C. P. Electrochemical reactions during ohmic heating. **Degree doctor of philosophy**, 2003. p. 153.

SEERAM, N. P.; BOURQUIN, L. D.; NAIR, M. G. Degradation products of cyanidin glycosides from tart cherries and their bioactivities. **Journal of agricultural and food chemistry**, 2001. v. 49, n. 10, p. 4924–4929.

SKREDE, G.; WROLSTAD, R. E.; DURST, R.W. (2000). Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*). **Journal of Food Science**, 65(2), p. 357-364.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Full Report (All Nutrients) 09001, Acerola, (west indian cherry), raw. **Release 28**, Setembro 2015a.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Full Report (All Nutrients) 09002, Acerola juice, raw. **Release 28**, Setembro 2015b.

VAN BOEKEL, M. Kinetic modeling of food quality: a critical review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, 2008. v. 7, n. 1, p. 144–158.

VERHEIJ, E. W. M.; CORONEL, R. E. ed. **Plant resources of South East Asia**. 2. Edible fruits and nuts. Bogor: PROSEA, 1992. 446p.

VEGARA, S. *et al.* Effect of pasteurization process and storage on color and shelf-life of pomegranate juices. **LWT - Food Science and Technology**, 2013. v. 54, n. 2, p. 592–596.