

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Química
Laboratório de Engenharia de Alimentos -LEA

Vitor Pereira Barbosa

**EFEITO DA COMPOSIÇÃO NAS PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DE
ALIMENTOS LÍQUIDOS A 915 E 2450 MHZ**

PICUSP 2016-2017
Relatório Final de Iniciação Científica
Orientador: Prof. Dr. Jorge Andrey Wilhelms Gut
Co-orientador: Rodrigo Nunes Cavalcanti
São Paulo – SP

São Paulo - SP

19 de fevereiro de 2021

Resumo

Com o propósito de obter alimentos com melhor qualidade sensorial e nutricional, busca-se atualmente alternativas aos processamentos térmicos convencionais com pasteurização através de trocadores de calor e uma das opções que vem apresentando grande avanço é através da tecnologia de aquecimento por micro-ondas em fluxo contínuo. Para o dimensionamento deste processo, é necessário o estudo das propriedades dielétricas do alimento (permissividade e fator de perda), para conseguir determinar a sua resposta ao campo eletromagnético, modelar o processo e desenvolver os equipamentos apropriados. O presente estudo utilizou sucos naturais de caju, maracujá, abacaxi e melão como amostras a serem analisadas quanto às suas propriedades dielétricas. Além de permissividade e fator de perda dipolar, também se tratou sobre a condutividade elétrica e profundidade de penetração das ondas, assim como a caracterização físico química: cinzas, umidade, pH, acidez titulável, cor instrumental, atividade de água e sólidos solúveis. Para as propriedades dielétricas o equacionamento foi realizado em função da temperatura (de 5 a 90 °C) e em função da frequência (de 500 a 3000 MHz) de modo a ser possível obter resultados para as frequências comerciais de 915MHz e 2450 MHz. Com foco nestas frequências comerciais, comparou-se a permissividade, fator de perda e profundidade de penetração. Complementa-se ao estudo a análise realizada relativa a qual mecanismo (iônico ou dipolar), predomina sobre o fator de perda, de acordo com a frequência e temperatura utilizadas, para todos os sucos.

Também foram realizadas regressões quadráticas e cúbicas para obter modelos para o comportamento da permissividade relativa e fator de perda, respectivamente. Além disso finalizou-se o estudo com um modelo final referente aos fatores de correção da permissividade relativa e fator de perda, modelo o qual foi obtido através de regressão múltipla, utilizando as variáveis de propriedades físico-químicas e temperatura.

Lista de Figuras

Figura 1: Analisador de rede E5061B com sonda 85070E da Agilent Technologies, utilizado na obtenção da permissividade e fator dielétrico dos sucos	13
Figura 2: Condutivímetro YSI-3200, com célula de condutividade modelo 252, empregado para obter a condutividade elétrica dos sucos	14
Figura 3: Vapor Sorption Analyser (VSA) da AquaLab DECAGON DEVICES, usado na obtenção da atividade de água dos sucos.....	15
Figura 4: Espectrofotômetro ColorQuest XE, da empresa HunterLab, utilizado na obtenção dos parâmetros a^* , b^* e L^* de cor instrumental.....	16
Figura 5: PH-STAT CONTROLLER PHM290 da empresa Radiometer Copenhagen, empregado na obtenção do pH e acidez titulável dos sucos.....	18
Figura 6: Dados de condutividade com regressão linear de condutividade elétrica dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.	24
Figura 7: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de maracujá em função da frequência (f) e da temperatura.	26
Figura 8: Fator de perda (ϵ'') do suco de maracujá em função da frequência (f) e da temperatura	27
Figura 9: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de melão em função da frequência (f) e da temperatura.	27
Figura 10: Fator de perda (ϵ'') do suco de melão em função da frequência (f) e da temperatura.	28
Figura 11: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de abacaxi em função da frequência (f) e da temperatura.	28
Figura 12: Fator de perda (ϵ'') do suco de abacaxi em função da frequência (f) e da temperatura.	29
Figura 13: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de caju em função da frequência (f) e da temperatura.	29
Figura 14: Fator de perda (ϵ'') do suco de caju em função da frequência (f) e da temperatura.	30
Figura 15: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de laranja em função da frequência (f) e da temperatura.	30

Figura 16: Fator de perda (ϵ'') do suco de laranja em função da frequência (f) e da temperatura.	31
Figura 17: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de limão em função da frequência (f) e da temperatura.	31
Figura 18: Fator de perda (ϵ'') do suco de limão em função da frequência (f) e da temperatura.	32
Figura 19: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de acerola em função da frequência (f) e da temperatura.	32
Figura 20: Fator de perda (ϵ'') do suco de acerola em função da frequência (f) e da temperatura.	33
Figura 21: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de goiaba em função da frequência (f) e da temperatura.	33
Figura 22: Fator de perda (ϵ'') do suco de goiaba em função da frequência (f) e da temperatura.	34
Figura 23: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de maracujá em função da frequência e da temperatura.	36
Figura 24: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de melão em função da frequência e da temperatura.	36
Figura 25: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de abacaxi em função da frequência e da temperatura.	37
Figura 26 Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de caju em função da frequência e da temperatura.	37
Figura 27: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de laranja em função da frequência e da temperatura.	38
Figura 28: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de limão em função da frequência e da temperatura.	38
Figura 29: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de acerola em função da frequência e da temperatura.	39
Figura 30: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de goiaba em função da frequência e da temperatura.	39
Figura 31: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de maracujá.	41

Figura 32: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de melão.	41
Figura 33: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de abacaxi.	42
Figura 34: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de caju.	42
Figura 35: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de laranja.	43
Figura 36: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de limão.	43
Figura 37: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de acerola.	44
Figura 38: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de goiaba.	44
Figura 39: Permissividade dielétrica dos sucos naturais à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	46
Figura 40: Fator de perda dielétrica dos sucos naturais à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	47
Figura 41: Profundidade de penetração (d_p) nos sucos naturais à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	47
Figura 42: Fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (símbolos vazios) e dipolar (ϵ''_d) (símbolos preenchidos) dos sucos naturais à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	48
Figura 43: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) no fator de perda dos sucos naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	49
Figura 44: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) no fator de perda dos sucos naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) à frequência de 915 MHz em função da temperatura.	50
Figura 45: Permissividade dielétrica dos sucos naturais à frequência de 2450 MHz.	51
Figura 46: Fator de perda dielétrica dos sucos naturais à frequência de 2450 MHz.	52
Figura 47: Profundidade de penetração (d_p) nos sucos naturais à frequência de 2450 MHz. ..	52
Figura 48: Fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (símbolos vazios) e dipolar (ϵ''_d) (símbolos preenchidos) dos sucos naturais à frequência de 2450 MHz.	53

Figura 49: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) do suco naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) à frequência de 2450 MHz.	54
Figura 50: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) do suco naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) à frequência de 2450 MHz.	55
Figura 51: Gráfico de paridade, para predição da permissividade relativa dos sucos à 915 MHz.	60
Figura 52: Gráfico de paridade, para predição da permissividade relativa dos sucos à 2450 MHz.	61
Figura 53: Gráfico de paridade, para predição do fator de perda dielétrica dos sucos à 915 MHz.	61
Figura 54: Gráfico de paridade, para predição do fator de perda dielétrica à 2450 MHz.	62

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dados referentes à preparação dos sucos naturais.....	12
Tabela 2: Dados empregados na correção realizada no valor obtido do grau °Brix, de acordo com a temperatura de medida, para obter o valor real do °Brix.....	18
Tabela 3: Dados referentes ao número de H ⁺ dos ácidos orgânicos, expressa em g de ácido orgânico, para determinação da acidez da amostra.	20
Tabela 4: Propriedades físico-químicas dos sucos naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) - sólidos totais e solúveis, atividade de água, acidez, pH, umidade, cinzas e cor instrumental..	22
Tabela 5: Propriedades físico-químicas dos sucos naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) - sólidos totais e solúveis, atividade de água, acidez, pH, umidade, cinzas e cor instrumental..	23
Tabela 6: Dados de condutividade elétrica (σ) (ms/cm) dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.	23
Tabela 7: Dados de condutividade elétrica (σ) dos sucos naturais de laranja, limão, acerola e goiaba em função da temperatura variando de 5 a 90 °C	24
Tabela 8: Parâmetros da regressão linear ($\sigma = a_1T + a_0$) da condutividade elétrica (ϵ') dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.	25
Tabela 9: Parâmetros da regressão polinomial determinadas para a dependência com a temperatura do fator de permissividade dielétrica (ϵ') dos sucos de frutas (entre 5 e 90°C) para as frequências de 915 e 2450 MHz, junto aos erros médios da estimativa e o coeficiente de determinação.....	57
Tabela 10: Parâmetros da regressão polinomial determinadas para a dependência com a temperatura do fator de perda dielétrica (ϵ'') dos sucos de frutas (entre 5 e 90°C) para as frequências de 915 e 2450 MHz, junto aos erros médios da estimativa e o coeficiente de determinação.....	58
Tabela 11: Regressão múltipla dos parâmetros determinada para correlação dos fatores dos fatores de correção (γ' e γ'' a 915 MHz e 2450 MHz) dos sucos, em função da temperatura e das propriedades físico-químicas, junto dos erros médios da estimativa e o coeficiente de determinação.....	59

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	1
1.2	Fundamentação teórica	2
1.2.1	Pasteurização usando micro-ondas	2
1.2.2	Condutividade elétrica	3
1.2.3	Permissividade relativa e fator de perda dielétrico	3
1.2.4	Profundidade de penetração.....	4
1.2.5	Características das Frutas	5
1.2.6	Definindo Sucos.....	10
1.3	Objetivos.....	10
2	Materiais e Métodos	12
2.1	Matérias Primas	12
2.2	Preparação das amostras	12
2.3	Propriedades dielétricas e condutividade elétrica	13
2.4	Atividade de água	15
2.5	Cor instrumental	15
2.6	Perda por dessecação (umidade) – Secagem em estufa a vácuo.....	16
2.7	Cinzas – Resíduo por incineração.....	17
2.8	Sólidos solúveis por refratometria	17
2.9	Medição de pH e Acidez titulável – Determinação da acidez titulável por volumetria potenciométrica.....	18
2.10	Análise estatística	20
	Cálculo dos fatores de correção	20
2.11	20	
3	Resultados e discussão	22

3.1	Propriedades Físico-Químicas	22
3.2	Condutividade.....	23
3.3	Propriedades Dielétricas	25
3.3.1	Permissividade Relativa e Fator de Perda	25
3.3.2	Profundidade de Penetração	35
3.3.3	Gráficos Cole-Cole	40
3.3.4	Frequências Comerciais.....	46
3.4	Comportamento Dielétrico nas Frequências Comerciais.....	57
4	Conclusões	63
5	Bibliografia.....	65

1 Introdução

1.1 Motivação

Propriedades dielétricas (PD) são essenciais para fornecer informações de como os materiais interagem com o campo eletromagnético oscilante, que pode ser gerado através da radiação eletromagnética, durante um aquecimento dielétrico. Essas propriedades têm diversas aplicações para alimentos submetidos a tratamentos térmicos com aquecimento por radiação eletromagnética na faixa de radiofrequência ou micro-ondas. O conhecimento sobre as PD é necessário para entender e modelar a resposta dos materiais ao campo eletromagnético em determinadas temperaturas e frequências. (SOSA-MORALES, VALERIO-JUNCO, *et al.*, 2010)

Dados precisos de PD dos alimentos são fundamentais para o projeto dos equipamentos necessários para realizar o processamento por radiação eletromagnética (SUN, DATTA e LOBO, 1995). A utilidade de saber as PD de materiais agrícolas e outros produtos alimentícios está no fato de que essas são utilizadas para prever a taxa de aquecimento e descrever o comportamento destes materiais quando submetidos a altas frequências elétricas ou campos eletromagnéticos de micro-ondas (VENKATESH e RAGHAVAN, 2004). Sabe-se por exemplo que as PD são muito variáveis com a frequência do campo aplicado e que a composição dos materiais, como o conteúdo de água presente, pode ter uma grande influência. (NELSON e TRABELSI, 2012)

A influência das PD no aquecimento dos materiais por absorção de energia nas frequências de micro-ondas é conhecida há algumas décadas, sendo que diversas aplicações foram investigadas (BROWN, HOYLER e BIERWIRTH, 1947). Com o advento do uso comercial de micro-ondas em aquecimento e o amplo aceite dos fornos de micro-ondas domésticos, os conceitos de aquecimento dielétrico ficaram mais difundidos. (VENKATESH e RAGHAVAN, 2004)

Adiciona-se a todos esses fatores a revolução tecnológica e a consciência nutricional maior atual da população, que demanda por novas ou melhores tecnologias de processamento de alimentos. Atualmente, diversos processos tecnológicos como processamento por ondas de rádio, alta pressão, irradiação, e incluindo aquecimento por micro-ondas, estão sendo investigados para melhorar ou substituir processos convencionais, os quais utilizam trocadores de calor nos quais a superfície aquecida do equipamento entra em contato direto com o produto. (DHOBAL, CHAUHAN, *et al.*, 2015)

Pasteurização é a tecnologia mais utilizada para eliminar organismos patogênicos e enzimas indesejáveis no leite e em suco de frutas. É baseada no uso de alta temperatura por determinado período de tempo. Entretanto através deste método ocorrem destruição de propriedades organolépticas, tanto quanto prejudicam seu valor nutricional e as características físico-químicas. Alimentos saudáveis e minimamente processados com alta qualidade em seus atributos são essenciais para satisfazer os consumidores, e esses tratamentos inovadores atuais encorajam aqueles presentes na indústria de alimentos e no meio acadêmico a encontrar soluções melhores para o processamento dos alimentos. (PULIGUNDLA, ABDULLAH, *et al.*, 2013)

Entre as vantagens das micro-ondas como fonte de aquecimento em relação aos processos convencionais pode-se citar:

- As micro-ondas penetram no interior do alimento e o aquecimento é volumétrico e rápido, o que reduz significativamente o tempo e a energia necessários.
- Dado que a taxa de transferência de calor é maior em relação aos métodos convencionais, os nutrientes e vitaminas, sabor, características sensoriais e cor do alimento são melhor preservados por causa do menor tempo necessário para aquecimento.
- Deposições mínimas de incrustações, considerando que não há uma superfície de troca de calor superaquecida em contato direto com o alimento. (DHOBAL, CHAUHAN, *et al.*, 2015)

1.2 Fundamentação teórica

1.2.1 Pasteurização usando micro-ondas

Pasteurização, processo nomeado em homenagem a Louis Pasteur, é um processo que utiliza o calor aplicado aos alimentos para eliminar organismos patogênicos e inativar bactérias e enzimas, tornando os alimentos seguros para consumo e com maior vida de prateleira. Mais frequentemente, leite e sucos de frutas são pasteurizados, mas o processo não inativa os esporos de bactérias, logo eles requerem refrigeração. (RAHMAN, AHMED e RAMASWAMY, 2007)

O termo micro-ondas é utilizado tipicamente para frequências geradas entre 3 e 300 GHz, com um comprimento de onda correspondente entre 10 cm e 1 mm respectivamente. Estas micro-ondas são geradas dentro de um forno através de uma fonte de energia de corrente alternada. Um dispositivo denominado magnetron, que opera a 4000 volts, localizado dentro do forno, é o responsável pela geração das ondas a 2450 MHz (ORSAT, RAGHAVAN e MEDA, 2005). O aquecimento necessário para realizar a pasteurização, nos processos por

micro-ondas, é atingindo através de dois mecanismos principais: iônico e dipolar, sendo que a água livre no alimento é frequentemente o componente primário responsável pelo aquecimento dielétrico. Isso ocorre devido à natureza dipolar da mesma, na qual as suas moléculas tentam se alinhar com o campo elétrico associado com a radiação eletromagnética, fazendo com que oscile com altas frequências, oscilação que gera o calor necessário. O mecanismo iônico ocorre devido à movimentação dos íons presentes no alimento. (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN RESOURCES, 2016)

Para quantificar esse aquecimento, é citada aqui a taxa volumétrica de geração de calor por volume, Q , durante o aquecimento por micro-ondas, que pode ser caracterizado pela Equação 1:

$$Q = 2 \pi f \varepsilon_0 \varepsilon'' E^2 \quad (1)$$

em que E é a intensidade do campo elétrico; f a frequência da radiação eletromagnética; ε_0 a permissividade no vácuo; e ε'' o fator de perda dielétrico. (BUFFLER, 1993)

1.2.2 Condutividade elétrica

Trata-se de uma propriedade que, na água, varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon. Logo é uma medida da habilidade de uma solução aquosa em conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. A condutividade elétrica é expressa no sistema internacional de unidades (S.I.) como Siemens por metro (S/m), sendo em medições realizadas em amostras de água por exemplo, utiliza-se preferencialmente microSiemens ($\mu\text{S/cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm). (PINTO, 2007)

1.2.3 Permissividade relativa e fator de perda dielétrico

As PD de interesse são a permissividade relativa ε' e o fator de perda dielétrica ε'' que são, respectivamente, a parte real e imaginária da permissividade relativa complexa:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'', (j = \sqrt{-1}) \quad (2)$$

A permissividade relativa ε' indica a habilidade do material em armazenar energia elétrica pela polarização do mesmo, e o fator de perda dielétrico ε'' está associado com o calor que dissipa do material ou a conversão de energia elétrica para energia térmica. (ZHU, GUO e WU, 2012)

Há uma relação entre a condutividade elétrica e o fator de perda dielétrico, que consiste em que os mecanismos de perda nas frequências de micro-ondas e de rádio são dominados pela polarização dipolar e pela condução iônica, como já mencionado na seção 1.2.3, em que: (GUO, ZHU, *et al.*, 2011):

$$\varepsilon'' = \varepsilon_d'' + \varepsilon_\sigma'' \quad (3)$$

O termo ε_d'' da Eq. (3) corresponde à perda dielétrica devida à rotação de dipolos. No entanto, os líquidos com sais dissolvidos têm outro mecanismo que contribui com o fator de perda: a condução iônica (ε_σ''). Os íons livres movem-se com o campo elétrico, mas não contribuem com a polarização. Além disso, quando estão ligados a moléculas de água, reduzem a permissividade elétrica (água ligada). O fator de perda devido à condução iônica pode ser calculado como proposto pelo modelo de Hasted-Debye (RYYANÄNEN, 1995):

$$\varepsilon_d'' = \frac{\sigma}{f\varepsilon_0} \quad (4)$$

Em que f é a frequência do campo eletromagnético (Hz), σ é a condutividade elétrica do material (S/m) e ε_0 é a permissividade elétrica no vácuo ($8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m).

1.2.4 Profundidade de penetração

Profundidade de penetração indica a profundidade do alimento na qual a potência da onda eletromagnética que gera um aquecimento passa a ser atenuada em um nível de $\frac{1}{e}$. Um maior valor de penetração indica uma menor atenuação e, portanto, maior uniformidade em amostras pequenas por exemplo, submetidas ao aquecimento por micro-ondas. A dependência com a temperatura para esta grandeza é um fator complexo a se analisar, porque as perdas iônicas e dielétricas se somam e devem ser levadas em conta. (AHMED, RAMASWAMY e RAGHAVAN, 2007)

A expressão utilizada para calcular esta grandeza em um corpo semi-infinito plano é mostrada na Equação 5:

$$d_p = \frac{\lambda_o}{2\pi\sqrt{2\varepsilon'}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} - 1 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

em que d_p é a profundidade de penetração (m) e $\lambda_o = \frac{c_o}{f}$ é o comprimento de onda no vácuo (m), c_o a velocidade da luz no vácuo ($c_o = 2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}$) e f a frequência do campo (Hz). (FRANCO, YAMAMOTO, *et al.*, 2015)

1.2.5 Características das Frutas

Devido ao interesse em se estudar as propriedades dielétricas dos sucos das frutas, é necessário também levantar informações atreladas as frutas utilizadas neste estudo, o que é então realizado nesta seção 1.2.5.

1.2.5.1 *Cenário Nacional e Internacional*

O setor da fruticultura é dos que mais se destacam no mercado de agronegócio brasileiro, através de uma grande variedade de culturas, produzidas em todo o país em diversos climas. Esse cenário favorece a conquista de resultados expressivos e geração de oportunidades para os pequenos negócios brasileiros. O Brasil se encontra como o terceiro maior produtor de frutas do mundo, perdendo apenas para China e Índia, posto que evidencia a relevância do setor para a economia brasileira. (SIM - SISTEMA DE INTELIGÊNCIA DE MERCADO, 2015)

Deve-se destacar também a importância desse setor em escala global, dado que ele está entre as áreas mais dinâmicas de comércio na agricultura, estimulado pela maior receita e aumento do interesse dos consumidores em maior variedade, frescura, conveniência e disponibilidade ao longo do ano das frutas. Avanços na produção, processamento, manuseio pós-colheita, tecnologias de logística e investimento internacional são algumas das características atuais do setor. Para os países em desenvolvimento por exemplo, o comércio desses produtos tem sido atraente em face da alta volatilidade ou tendência decrescente a longo prazo dos preços, quanto aos produtos de exportação (THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT / THE WORLD BANK, 2005)

1.2.5.2 *Melão*

O melão (*Cucumis melo L.*) pertence à família Cucurbitaceae, sendo originário da África e da Ásia. Cultivado na Europa e Ásia desde os primórdios da Era Cristã. No Brasil, foi introduzido pelos escravos no século XVI e mais recentemente (século XIX), introduzido novamente pelos imigrantes europeus, dando início à expansão da cultura principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste. Existem diversas variedades comercializadas no Brasil, sendo as principais: amarelo, pinga de mel, gália, pinga de mel, cantaloupe, caipira, etc. (PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA, 2004) A variedade mais

produzida e difundida no Brasil é o melão amarelo tipo valenciano, de origem espanhola, com frutos redondos, casca amarela rugosa, polpa espessa com coloração entre branca esverdeada e creme e sabor doce. (BRANDÃO FILHO e VASCONCELLOS, 1998) (CAMARGO, CAMARGO e CAMARGO FILHO, 2008). A alta comercialização dessa variedade se deve principalmente à sua alta resistência ao transporte e armazenamento. Devido a essas características, essa foi a variedade selecionada para o estudo.

Sua importância na saúde se destaca pela presença três componentes: cucurbitacina, lítio e zinco, sendo úteis na prevenção ao câncer, combatentes a depressão, caspa, úlceras e estimulante para o sistema imunológico (LESTER, 1997). Também pelo alto teor de potássio, é indicado para cardíacos que fazem uso de medicação diurética e pessoas com afecções no fígado, como cálculos, cirrose hepática e hepatite. Além disso é diurético, possui atividade anticoagulante, é fortificante, calmante e relaxante. (MELO e ALMEIDA)

1.2.5.3 Maracujá

O maracujá (*Passiflora edulis*) pertence à família Passifloraceae, originária da América do Sul, e provável da Amazonas, no Brasil. Atualmente presente ao redor do mundo como uma fruta comestível presente na indústria de alimentos, sendo que altitude e latitude não são limitantes para o cultivo, mas existe uma clara dependência com a temperatura. Adiciona-se a isso o fato de o maracujá tolerar uma grande variedade de solos, preferencialmente arenosos e bem drenados com pH de 6,5 a 7,5, com necessidade de proteção contra o vento bem como um grande número de insetos, nematelmintos, fungos e vírus. No Brasil é possível respeitar esses fatores e a produção é disseminada em praticamente todo o país, sendo que a colheita é que se diferencia quanto à época do ano.

Entre as variedades comercializadas no país temos o maracujá roxo e o maracujá amarelo ou azedo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), sendo que este último é o mais conhecido pelos brasileiros e o utilizado para este estudo. Deve-se citar também a importância que o maracujá possui em aplicações medicinais, como já tem sido utilizado para tratar ansiedade, insônia, asma, bronquite e infecções urinárias. (PIRES, SÃO JOSÉ e CONCEIÇÃO, 2011) (ZIBADI e WATSON, 2004) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2016).

1.2.5.4 Caju

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) pertence à família Anacardiaceae é uma fruta tropical, a qual as teorias atuais sobre a origem do cajueiro apontam o Brasil, ou pelo menos o Norte da América do Sul e parte da América Central como o mais provável centro filogenético da espécie (BARROS, 1995). No Brasil a fruta é abundante no nordeste do país, nos estados de Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, os quais representam 90% da produção de Caju no país (LEITE, ISLAM, *et al.*, 2016). Além da espécie já citada, a fruta compreende ainda outras 20 espécies, mas dentre todas elas, apenas a *Anacardium occidentale* é cultivada comercialmente (NETO, BARROS, *et al.*, 2015) e por isso foi a escolhida para o estudo em questão.

Adaptada a uma grande variedade de solos, mas que no geral prefere solos férteis, bem drenados, profundo e arenoso, argiloso, com grande quantidade de matéria orgânica. Caju ainda é uma fruta que tolera solos pouco ácidos e neutros, com um pH entre 6,3 e 7,3. (SAGBADJA, ALIOU, *et al.*, 2015) Esta espécie ainda se destaca pela sua atividade antioxidante, antienzimática, antimutagênica, anti-inflamatória antibacteriana, antifúngica e larvicida. Também é rico em antocianinas, carotenoides, ácido ascórbico, flavonoides e outros polifenóis, bem como componentes minerais. (LEITE, ISLAM, *et al.*, 2016)

1.2.5.5 Abacaxi

O abacaxi (*Ananas comusus* L. Merrill) pertence à família Bromeliaceae, originário das Américas, foi difundido para todo o mundo, principalmente pelos navegantes europeus, devido ao seu aroma, sabor característicos e exuberante aparência. O Abacaxi encontra-se entre as 11 frutas mais produzidas no mundo, cultivado e consumido pelos cinco continentes, e o maior produtor que se destaca é Brasil. (CRESTANI, BARBIERI, *et al.*, 2010)

Entre as variedades de abacaxi existentes há Singapore Spanish, Queen, Red, Spanish, Pérola. (CABRAL, 2003). A distribuição geográfica de produção de abacaxi do Brasil mostra uma predominância da variante popularmente denominada de “Pérola” na região nordeste. Os estados mais produtores são Pará e Paraíba que juntos foram responsáveis por 42% da produção em 2006. Também na região de maior comércio de frutas do Brasil (Ceagesp) a maior variedade encontrada foi a “Pérola” no ano de 2000, o que explica a escolha desta variedade para o estudo. (ALMEIDA, 2009)

É uma fruta tropical que cresce melhor em clima moderadamente quente (16 °C até 33 °C), com chuvas regulares. Não tolera geadas e é intolerante também a altas temperaturas (excessos além de 40 °C. Além disso possui um sistema de raízes frágeis que demandam solos

bem drenados. Podemos destacar a importância da fruta no mercado pelo fornecimento da fibra utilizada em indústrias têxteis e a enzima bromelina. O uso medicinal dessa enzima inclui alívio para quem sofre de artrite, também redução na coagulação sanguínea como um agente anti-inflamatório. Adiciona-se a isso que bromelina também possui usos industriais como clarificação da cerveja. (The Pineapple, 2009)

1.2.5.6 Laranja

A laranja (*Citrus sinensis*) pertence à família Rutaceae. Como todas as plantas cítricas, a laranjeira é nativa da Ásia, mas a região de origem é controversa. Este gênero *Citrus* representa a longa evolução, com início a mais de 20 milhões de anos, na Austrália. Segundo pesquisadores, ela foi levada da Ásia para o norte da África e de lá para o Sul da Europa, e da Europa então trazida à América. Essa expansão deu origem a diferentes mutações e, portanto, maior variedade. (TURRA e GHISI, 2015).

Suco de laranja é o produto principal da indústria de cítricos, e outros produtos com bons valores comerciais são obtidos durante o processamento dos sucos: óleos essenciais, D-limoneno, terpenos, líquidos aromáticos e farelo de polpas cítricas. Há diferentes aplicações no mercado interno brasileiro e no exterior, de modo que inclui a produção de produtos químicos e solventes, produção de aromas e fragrâncias, substâncias para serem usadas em tintas, cosméticos, comida animal, entre outras (MATTA, CABRAL, *et al.*, 2010)

1.2.5.7 Limão

Limão (*Citrus limon L.*) é pertencente à família Rutaceae. É cultivado em países com clima seco como Estados Unidos, Argentina, Espanha, Itália e Japão. A produção é destinada para o mercado de processamento de sucos, para obtenção de pectina e óleos essenciais. O Suco de limão, fresco, concentrado ou congelado, desidratado ou em pó, é utilizado para limonadas, bebidas carbonadas ou outros. Também utilizado em produtos farmacêuticos. O limão Tahiti (*Citrus latifolia*) é produzido principalmente no Brasil e México. O estado de São Paulo é o maior produtor com aproximadamente 81,3% da produção total, e esta foi a variedade utilizada no estudo. (MINIM, TELIS, *et al.*, 2009)

A grande maioria dos frutos cítricos provêm da Ásia. O limoeiro no seu início era apenas um simples arbusto que se espalhava espontaneamente nos campos compreendidos entre a Índia e o sudeste do Himalaia. Quanto à como se tornou conhecido na Europa, existem várias versões. Alguns dizem que foram tragos pelos mulçumanos entre os séculos VII e IX. No entanto

existem relatos de que os romanos já o conheciam, usando-o como medicamento. De qualquer forma nas Américas, o limão chegou junto com os primeiros conquistadores espanhóis e portugueses, no século XVI. (ITACITRUS AGROINDUSTRIAL E EXPORTADORA S/A., 2010)

1.2.5.8 *Acerola*

Acerola (*Malpighia emarginata* DC.), pertencente à família Malpighiaceae, compreende 30 espécies nativas do oeste da Índia. Também cresce na América do Sul e Central incluindo Brasil devido a sua boa adaptação ao solo e clima. A sua polpa tem a característica de bom aproveitamento para produção de sucos, considerada também com a presença de um doce refrescante e ótimo sabor. É principalmente conhecida pela alta quantidade de vitamina C, variando entre 3 e 46 g por quilograma de polpa, sendo uma das mais importantes fontes naturais desta vitamina. (MEZADRINI, VILLANO, *et al.*, 2008)

Até agora o produto mais comercializado de acerola no Brasil têm sido a própria fruta, a polpa congelada e o suco pasteurizado. No entanto novos produtos estão aparecendo no mercado, como sucos derivados da mistura de frutas (acerola com caju, acerola com laranja). A associação entre o consumo desta fruta e uma diminuição no risco de doenças cardiovasculares e câncer é suportada por evidências epidemiológicas. Este efeito benéfico é resultado da ação de compostos antioxidantes, que são capazes de neutralizar radicais livres e reduzir o dano oxidativo no corpo. (MEZADRINI, VILLANO, *et al.*, 2008)

1.2.5.9 *Goiaba*

Goiaba (*Psidium guajava* L.) é pertencente à família Myrtaceae, e acreditam que sua origem é da América Central e sul do México. Para processamento da fruta, ela é principalmente enlatada ou convertida para suco e purês, também usada para produção de geleia e goiabada. (SHAMSUDIN, MOHAMED e YAMAN, 2005). Atualmente é cultivada em grande parte dos países de regiões tropicais e subtropicais, dado que a temperatura e humidade ideal estão dentro de 25 °C a 30 °C e 50% a 80%, respectivamente. Índia, Paquistão, Brasil e México são os maiores produtores. (CUNHA, HUBINGER, *et al.*, 2012)

A goiaba contém um grande espectro de fito químicos incluindo polissacarídeos, vitaminas, óleos essenciais, minerais, enzimas e proteínas. Possui maior quantidade de vitamina C que frutas cítricas (80mg de vitamina C em 100g de fruta), além de quantidade apreciável de

vitamina A. Goiabas também contêm carotenoides e polifenóis – a classe dominante de pigmentos antioxidantes – o que confere a esta fruta um relativo alto potencial antioxidante em relação a outras frutas. (JOSEPH e PRIYA, 2011)

1.2.6 Definindo Sucos

Um suco é definido como o conteúdo fluído extraído de células ou tecidos (MERRIAM-WEBSTER, 1981). Outra definição dada também é “Sucos de frutas são líquidos não fermentados mas fermentáveis, obtidos das partes comestíveis de frutas propriamente maduras e frescas ou frutas mantidas em condições adequadas após a colheita através de tratamentos aplicados de acordo com as disposições aplicáveis na “Codex Alimentarius Commission”. (FAO , 2005)

1.2.6.1 *Sucos de fruta concentrados*

Frutos de fruta concentrados se caracterizam pela água ter sido removida em uma quantidade suficiente para que o nível Brix ter incrementado em pelo menos 50% em relação ao anterior. (FAO , 2005)

1.2.6.2 *Néctars*

Néctar é a bebida não fermentada, mas fermentável obtida pela adição de água com ou sem adição de açúcares, mel, xarope e/ou aditivos. Substâncias aromáticas, componentes voláteis para adicionar sabor, polpas e células devem ser retiradas por modos adequados, e sempre do mesmo tipo de fruta. (FAO , 2005)

1.2.6.3 *Outras definições de sucos*

Outras designações de sucos relevantes para este projeto são “suco puro”, o qual não contém nenhum ajuste ou adição de água, açúcar ou aditivos; “bebidas à base de suco de fruta”, que contém de 10 a 20% de suco (o que pode diferir de acordo com os países); “suco a base de néctar”, possui suficiente sabor, ácido e açúcar mas requer diluição em água para o consumo. (FAO, 2001)

1.3 Objetivos

Avaliar as propriedades dielétricas (permissividade relativa e fator de perda) de sucos e polpas de frutas naturais em diferentes condições de temperatura (5 a 90 °C) e frequência de campo elétrico (500 a 3000 MHz). Correlacionar as propriedades dielétricas nas frequências comerciais de 915 e 2450 MHz com a temperatura identificando a contribuição dos mecanismos iônico e dipolar. Investigar uma possível correlação entre as propriedades dielétricas e as

características dos sucos estudados (umidade, acidez titulável, pH, cinzas, sólidos solúveis) em busca de um modelo preditivo geral.

2 Materiais e Métodos

2.1 Matérias Primas

Todas as frutas foram adquiridas da safra de 2016 do mercado local CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), localizado na cidade de São Paulo, SP, Brasil. A escolha das frutas e suas respectivas variedades para a preparação dos sucos frescos foi baseada em dados da literatura (BRANDÃO FILHO e VASCONCELLOS, 1998; PIRES, SÃO JOSÉ e CONCEIÇÃO, 2011; NETO, BARROS, et al., 2015; ALMEIDA, 2009), que apresentaram estas variedades como as principais comercializadas no Brasil. As frutas estudadas constam na Tabela 1.

2.2 Preparação das amostras

Inicialmente, as frutas inteiras foram lavadas em água corrente para a eliminação de sujidades. Em seguida, as frutas foram deixadas imersas em solução aquosa de hipoclorito de sódio (200 mg/L) por 30 min e por fim foram lavadas novamente em água corrente. Após esse processo, todas passaram pelo procedimento manual de despulpamento, sendo que suas polpas foram trituradas em liquidificador (PHILIPPS-WALLITA, MOD RI2101). As polpas foram filtradas em peneira doméstica de aço inoxidável com abertura de 1 mm.

Os sucos naturais foram preparados a partir das polpas de acordo com a diluição com água deionizada e adição de açúcar branco refinado (Usina Alto Alegre, PR, Brasil) apresentados na Tabela 1. A diluição foi realizada com base em composição de sucos comerciais (da Fruta®, Del Valle®, e Maguari®) e dados da literatura (Rocha e Bolini, 2015).

Tabela 1: Dados referentes à preparação dos sucos naturais

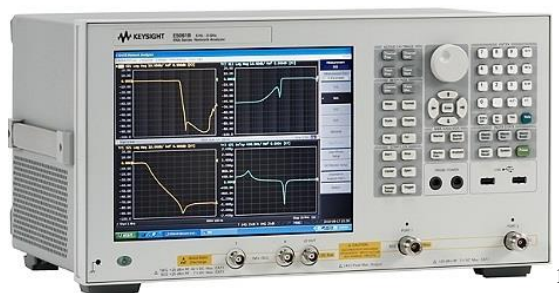
Suco	Diluição de suco em água (v/v)	Adição de Sacarose (%, m/v)
Maracujá	1:6	7
Melão	-	-
Abacaxi	1:2	2
Caju	1:3	5
Laranja	-	-
Limão	1:3	10
Acerola	1:3	5
Goiaba	1:3	3

As amostras dos sucos naturais foram embaladas em garrafas de polietileno de alta densidade de 300 mL, as quais foram armazenadas em freezer de plasma (FANEM MOD. 349FV, São Paulo-SP, Brasil) a -30 °C.

2.3 Propriedades dielétricas e condutividade elétrica

Para realizar as medições das propriedades dielétricas nos alimentos analisados, foi utilizada a técnica de cabo coaxial aberto com varredura de frequência. As PD foram medidas com o analisador de rede E5061B (Agilent Technologies, Malásia), ilustrado na Figura 1, provido de um kit específico para propriedades dielétricas E5061B (Agilent Technologies, Malásia), com um sensor de varredura de 300 kHz – 9 GHz (S/N 00566 Agilent Technologies, Malásia) com a utilização do software 85070 (Agilent Technologies, Version E06.01.36, Malásia). Devido à sensibilidade do equipamento a oscilações na rede elétrica, ele é conectado a um no-break SM1400BiFX (SMS Tecnologia Eletrônica, Brasil), de modo a minimizar quaisquer interferências que prejudiquem a análise. Para realizar as análises, previamente calibrou-se o analisador de rede com a sonda operando no modo performance, com a calibração que é realizada com a sonda no ar (circuito aberto), *shorting block* (circuito fechado) e água deionizada (EVERARD, FAGAN, *et al.*, 2006). A varredura linear de frequências utilizada foi de 500 a 3000 MHz, utilizando um total de 101 pontos.

Figura 1: Analisador de rede E5061B com sonda 85070E da Agilent Technologies, utilizado na obtenção da permissividade e fator dielétrico dos sucos



Fonte: Site da Keysight Technologies

As amostras foram submetidas a um processo em equipamento de ultrassom (UNIQUE, UltraSonic Cleaner-USC-1850A, Indaiatuba, SP-Brasil) durante 30 minutos em frasco de erlenmeyer, com volume de 125 mL, para retirar o ar dissolvido ou disperso, visando não

¹ Disponível em <http://www.keysight.com/en/pdx-x201771-pn-E5061B/ena-series-network-analyzer?cc=BR&lc=por>, acesso em 17 de novembro de 2016

prejudicar na obtenção dos valores de permissividade relativa e fator de perda. Antes ainda de serem levadas à sonda do analisador de rede, as temperaturas desejadas foram obtidas através do banho térmico (Brookfield, modelo TC-550AP-115, Middleboro, MA-U.S.A.), de modo a conseguir atingir a temperatura desejada, sendo a verificação da temperatura realizada com o termômetro digital (Minipa MT-455, São Paulo-SP, Brasil) sendo utilizado então as temperaturas de 5 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C. O volume de amostra utilizado foi de aproximadamente 125 mL, sendo então colocado em um Erlenmeyer de mesmo volume.

Para todas as temperaturas também foi medida a condutividade elétrica das soluções por meio de um condutivímetro YSI-3200 (YSI, EUA), ilustrado na Figura 2, e a célula de condutividade modelo 3252, específica para imersão em solução. Para cada temperatura, registrou-se 3 valores de condutividade (triplicata da medida) com o propósito de obter a média. (BARBOSA-CANOVAS e ZHANG, 2011)

Figura 2: Condutivímetro YSI-3200, com célula de condutividade modelo 252, empregado para obter a condutividade elétrica dos sucos



2

Fonte: Site da YSI

Após medida a condutividade, a amostra foi redirecionada para realizar a medição das propriedades dielétricas. A sonda foi imersa na amostra e através do software computacional previamente citado, realizou-se a varredura em duplicata para cada temperatura. Após a varredura ser realizada, retornava-se a amostra para o banho térmico a fim de atingir a próxima temperatura a ser mensurada. Além disso a sonda fora higienizada com água deionizada e seca com papel macio, deixando-a pronta para a próxima medida ser realizada.

2.4 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada usando o equipamento AquaLab VSA (DECAGON DEVICES, USA) (Figura 3). Na preparação das amostras para serem analisadas, primeiramente lavava-se os recipientes de plástico específicos do equipamento que, após a lavagem, eram colocados na estufa para secagem e então ainda ficavam por 30 min em um dessecador com sílica gel. Feitos esses passos iniciais, as soluções de suco de fruta foram colocadas no recipiente, não ultrapassando mais que a metade da capacidade do mesmo, de acordo com a orientação do próprio fabricante.

Figura 3: Vapor Sorption Analyser (VSA) da AquaLab DECAGON DEVICES, usado na obtenção da atividade de água dos sucos



Fonte: Site da Decagon Devices

O equipamento fornece em sua leitura além do valor da atividade de água também a temperatura das amostras. Foram realizadas leituras em triplicata. (AOAC INTERNATIONAL, 2016)

2.5 Cor instrumental

A cor instrumental das amostras foi determinada por meio do espectrofotômetro ColorQuest XE, (HunterLab, Virginia U.S.A.), ilustrado na Figura 4. Antes de colocar as amostras para análise, o espectrofotômetro era devidamente calibrado. A calibração foi realizada para os padrões de ausência de luz (*light trap*) e cor branca (Serial No. CQX3404)

² Disponível em <https://www.decagon.com/en/soils/benchtop-instruments/vapor-sorption-analyzer/>, acesso em 17 de novembro de 2016

fornecidos pelo fabricante, além da verificação da calibração com o padrão de cor verde (Serial No. CQX3404).

Figura 4: Espectrofotômetro ColorQuest XE, da empresa HunterLab, utilizado na obtenção dos parâmetros a^* , b^* e L^* de cor instrumental



3

Fonte: Manual do Equipamento

Confirmado que a calibração estava correta, colocava-se a amostra em célula óptica de vidro (13-8573-40) e então realizava-se a medida, obtendo os parâmetros L^* , a^* e b^* . As leituras foram realizadas em triplicata para cada amostra, além de utilizar duplicata de amostra. (PATHARE, OPARA e AL-SAID, 2013)

2.6 Perda por dessecação (umidade) – Secagem em estufa a vácuo

Inicialmente, as cápsulas de porcelana foram higienizadas, colocadas em estufa (SOC FABBE LTDA, mod 116, São Paulo -SP, Brasil) a 70 °C para secagem e, posteriormente, em dessecador com sílica gel para garantir ausência de umidade e uniformidade com a temperatura ambiente. Em seguida, as cápsulas de porcelana foram pesadas a fim de se obter a sua tara. Pesou-se cerca de 10 g de amostra na cápsula e pesou-se novamente o conjunto cápsula mais amostra, na balança (Chyo JK-200, serial no. 91979, Japão), com quatro casas decimais de precisão. Posteriormente, as cápsulas foram levadas para a estufa à vácuo (Marconi, MA 030, Piracicaba-SP, Brasil) a 60 °C e vácuo de aproximadamente -66,7 kPa. As amostras permaneceram na estufa a vácuo por pelo menos 96 horas antes de serem retiradas.

Após a retirada da estufa com luvas de látex descartável (Linha CLEANLINE by VOLK, Araucária-PR, Brasil) ou pinça de metal, as cápsulas foram direcionadas à balança

³Disponível em: <https://www.hunterlab.com/colorquest-xe-user-manual.pdf>, acesso em 17 de novembro de 2016

analítica. Encerrados todos esses procedimentos, podia-se dar continuidade aos experimentos levando essas amostras que já foram submetidas à análise de umidade para a análise de cinzas, tratada na seção 2.7 a seguir (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008)

2.7 Cinzas – Resíduo por incineração

Como explicado na seção 2.6 após ser submetida à análise de umidade, pode-se dar continuidade aos experimentos levando os cadinhos com as amostras para a mufla (QUIMIS, modelo Q-318D24, Diadema-SP, Brasil), a aproximadamente 550 °C, permanecendo na mesma por pelo menos 72 horas. Assim como a análise de umidade, a de cinzas também foi realizada em triplicata de amostra.

Para retirar da mufla, desligou-se a mesma e esperou-se pelo menos 12 horas para que chegue a temperatura ambiente, de modo a evitar choques térmicos na retirada das amostras. Antes de realizar a pesagem na balança analítica de quatro casas decimais (Chyo JK-200, serial no. 91979, Japão), colocou-se as amostras em dessecador por 30 min. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008)

2.8 Sólidos solúveis por refratometria

As amostras foram inicialmente filtradas em pano milimetrado de tecido voil 100% poliéster com gramatura de 50 g/m² e depositadas em béqueres de 100 mL. Antes de serem depositadas de 3 a 4 gotas no refratômetro (INSTRUTHERM, São Paulo, SP, Brasil), o mesmo foi calibrado com água deionizada. As medidas foram realizadas em triplicata e a cada troca de amostra realizava-se a lavagem do local onde é depositada a solução com água deionizada e a secagem com papel macio. Além disso, para todas as medidas foi anotada a respectiva temperatura. Posteriormente, os valores de °Brix foram corrigidos para a temperatura de 20 °C de acordo com os dados apresentados na Tabela 2 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008)

Tabela 2: Dados empregados na correção realizada no valor obtido do grau °Brix, de acordo com a temperatura de medida, para obter o valor real do °Brix.

Temperatura (°C)	Subtraia da leitura obtida	Temperatura (°C)	Adicione à leitura obtida
-	-	21	0,08
-	-	22	0,16
13	0,54	23	0,24
14	0,46	24	0,32
15	0,39	25	0,40
16	0,31	26	0,48
17	0,23	27	0,56
18	0,16	28	0,64
19	0,08	29	0,73
20	0,00	30	0,81

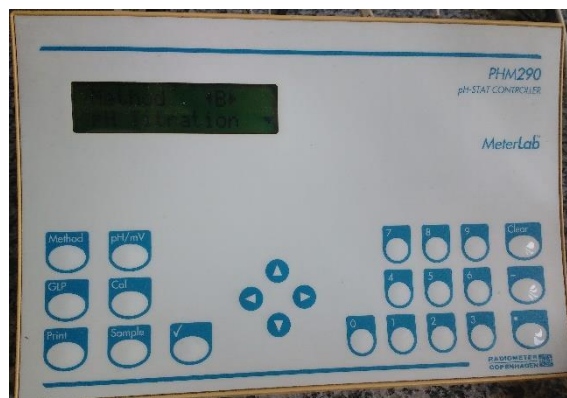
Fonte: Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - Instituto Adolf Lutz

2.9 Medição de pH e Acidez titulável – Determinação da acidez titulável por volumetria potenciométrica

O método é baseado na titulação potenciométrica da amostra com solução de hidróxido de sódio onde se determina o ponto de equivalência pela medida do pH da solução.

Os equipamentos utilizados foram o pH-STAT CONTROLLER PHM290 (Radiometer Copenhagen), ilustrado na Figura 5: PH-STAT , e a bureta automática AUTOBURETTE (ABU901)

Figura 5: PH-STAT CONTROLLER PHM290 da empresa Radiometer Copenhagen, empregado na obtenção do pH e acidez titulável dos sucos



Fonte: Próprio autor

O primeiro passo foi calibrar o equipamento com as soluções tampão de pH 4, 7 e 10 (EMD Millipore Corporation, Merck KGaA, Darmstadt - Germany). Após a calibração as amostras foram submetidas à análise para verificar qual o pH das mesmas, logo foram depositadas aproximadamente 40 mL de suco em potes de polietileno de alta densidade com volume total de 50 mL e, então, as amostras foram levadas ao pH-STAT. Todos os ensaios foram realizados em triplicata após estabilização do valor de pH. Entre cada leitura, lavava-se a bureta, o eletrodo e o termopar com água deionizada e secava-se com papel macio (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Para a determinação da acidez titulável em ácido orgânico, as amostras de suco foram diluídas em água deionizada (1:10, v/v) e depositadas em potes de polietileno de alta densidade de 50 mL. Imergiu-se o eletrodo, a bureta automática e o termopar na amostra sob agitação magnética de 60 rpm. Em seguida, foi iniciada a adição de solução de NaOH 0,05 M (fator de correção $f = 0,9672$) ou NaOH 0,2 M (fator de correção $f = 0,9691$) de acordo com o pH obtido da amostra. O equipamento foi configurado para finalizar a titulação quando atingir o pH da fenolftaleína (pH = 8,2) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Todos os ensaios foram realizados em triplicata. A determinação da acidez, expressa em g de ácido orgânico por 100 mL de suco, considerando o respectivo ácido predominante na amostra (Tabela 3), foi obtida de acordo com a Equação 6. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008)

$$\frac{\text{g de ácido orgânico}}{100 \text{ mL de amostra}} = \frac{V \times f \times M \times PM}{10 \times P \times n} \quad (6)$$

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação em mL

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio.

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio.

PM = peso molecular do ácido correspondente em g

P = massa da amostra em g ou volume pipetado em mL.

n = número de hidrogênios ionizáveis

Tabela 3: Dados referentes ao número de H^+ dos ácidos orgânicos, expressa em g de ácido orgânico, para determinação da acidez da amostra.

Ácido Orgânico	PM (g)	n
Ácido cítrico	192	3
Ácido tartárico	150	2
Ácido málico	134	2
Ácido láctico	90	1
Ácido acético	60	1

Fonte: Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - Instituto Adolf Lutz

2.10 Análise estatística

Todos os dados são apresentados como média \pm desvio padrão em três ou mais replicatas ($r \geq 2$). Todos os cálculos e análise dos dados foram realizados utilizando o *software* Excel 2013 (Microsoft, EUA)). As análises de regressão e as incertezas dos parâmetros obtidos foram determinadas através do *software* Statgraphics Centurion XV (Statpoint, EUA).

2.11 Cálculo dos fatores de correção

A principal contribuição para a permissividade relativa dos sucos vêm certamente da polarização das moléculas livres da água. A presença de substâncias dissolvidas podem perturbar o alinhamento dessas moléculas e a permissividade do suco deveria então ser menor do que da água à mesma temperatura. Além disso, a presença de materiais solúveis e insolúveis possuem uma contribuição, devido ao volume, na polarização, em comparação com a água pura. Consequentemente a permissividade relativa do suco pode ser expressa como na Equação 6:

$$\varepsilon' = \gamma' \varepsilon'_w \quad (6)$$

Onde γ' é o fator de correção da permissividade da água ($0 < \gamma' < 1$) e ε'_w é a permissividade relativa da água pura à mesma temperatura.

Para o fator de correção, a presença de substâncias dissolvidas muda a frequência de relaxação da água para frequências menores, deste modo levando a um incremento no fator de perda para frequências menores que o pico de relaxação. O fator de correção para os sucos podem ser expressos pela Equação 7:

$$\varepsilon'' = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} + \gamma'' \varepsilon_w'' \quad (7)$$

Onde γ'' é o fator de correção do fator de perda da água ($\gamma'' > 1$) e ε_w'' é o fator de perda da água pura na mesma temperatura e frequência.

Para o cálculo de ε_w' e ε_w'' foram utilizadas as equações de 8 a 11, com os valores experimentais de permissividade e fator de perda da água obtidos por (FRANCO, YAMAMOTO, *et al.*, 2015)

$$\varepsilon_{w,915}' = 87,1 - 0,374T + 9,54 \times 10^{-4}T^2 \quad (8)$$

$$\varepsilon_{w,2450}' = 84,1 - 0,264T + 4,56 \times 10^{-4}T^2 + 6,22 \times 10^{-6}T^3 \quad (9)$$

$$\varepsilon_{w,915}'' = 7,01 - 0,180T + 2,07 \times 10^{-3}T^2 - 8,60 \times 10^{-6}T^3 \quad (10)$$

$$\varepsilon_{w,2450}'' = 18,7 - 0,493T + 5,69 \times 10^{-3}T^2 - 2,44 \times 10^{-5}T^3 \quad (11)$$

3 Resultados e discussão

3.1 Propriedades Físico-Químicas

A Tabela 4 apresenta os dados das propriedades físico-químicas analisadas dos oito sucos naturais. Estas propriedades são importantes na tentativa de predizer o comportamento dielétrico das soluções de acordo com suas características físico-químicas, portanto contribuem para a discussão sobre as propriedades dielétricas realizada na seção 2.3.

Tabela 4: Propriedades físico-químicas dos sucos naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) - sólidos totais e solúveis, atividade de água, acidez, pH, umidade, cinzas e cor instrumental.

Análises	Sucos naturais			
	Maracujá	Melão	Abacaxi	Caju
Sólidos Totais (% m/m)	8,62 ± 3,69	11,21 ± 6,08	13,33 ± 0,76	8,45 ± 3,667
Sólidos Solúveis (°Brix) ¹	8,63 ± 0,07	11,66 ± 0,14	6,68 ± 0,14	7,83 ± 0,07
A _w ²	0,959 ± 0,001	0,975 ± 0,026	0,985 ± 0,001	0,957 ± 0,001
Acidez (g ácido cítrico/100g) ³	0,538 ± 0,019	0,081 ± 0,004	0,163 ± 0,002	0,057 ± 0,006
pH ⁴	3,06 ± 0,01	6,28 ± 0,01	3,97 ± 0,01	4,86 ± 0,01
Umidade	91,38 ± 0,03	88,79 ± 0,01	86,67 ± 0,02	91,55 ± 0,02
Cinzas	0,89 ± 0,05	4,81 ± 0,50	2,51 ± 0,14	10,624 ± 2,917
Condutividade	0,785 ± 0,001	4,431 ± 0,001	1,152 ± 0,001	0,715 ± 0,001
Cor:				
L*	32,59 ± 0,01	32,70 ± 0,01	35,51 ± 0,05	65,84 - 0,01
a*	-0,63 ± 0,03	-0,39 ± 0,03	-0,78 ± 0,03	3,88 - 0,02
b*	5,80 ± 0,06	0,44 ± 0,03	-0,42 ± 0,05	32,62 - 0,01

Tabela 5: Propriedades físico-químicas dos sucos naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) - sólidos totais e solúveis, atividade de água, acidez, pH, umidade, cinzas e cor instrumental

	Laranja			Limão			Acerola			Goiaba		
Sólidos Totais (%, m/m)	9,94	±	0,96	10,07	±	7,82	7,01	±	6,19	7,66	±	0,06
Sólidos Solúveis (°Brix) ¹	12,83	±	0,07	26,23	±	0,21	29,62	±	0,01	30,27	±	0,06
A _w ²	0,954	±	0,001	0,931	±	0,035	0,948	±	0,001	0,973	±	0,003
Acidez (g ácido cítrico/100g) ³	0,637	±	0,006	1,356	±	0,283	0,600	±	0,004	0,111	±	0,004
pH ⁴	3,96	±	0,01	2,44	±	0,00	3,47	±	0,01	4,09	±	0,09
Umidade	90,06	±	0,07	89,93	±	0,09	92,99	±	0,02	92,34	±	0,04
Cinzas	3,90	±	0,07	0,10	±	0,50	0,74	±	0,06	0,78	±	0,04
Condutividade	4,7833	±	0,0006	2,3920	±	1,6910	2,0415	±	0,2478	1,1446	±	0,6341
Cor:												
L*	42,66	±	0,46	33,15	±	0,03	39,70	±	0,01	52,56	±	0,00
a*	-1,51	±	0,08	-0,28	±	0,04	22,78	±	0,03	18,77	±	0,02
b*	13,11	±	0,68	-1,51	±	0,07	16,93	±	0,04	15,31	±	0,02

¹ Sólidos solúveis expressos em °Brix a 20 °C; ² atividade de água a 25 °C; ³ acidez expressa em ácido cítrico a 25 °C; ⁴ potencial hidrogeniônico a 25 °C. * Valores expressos como média ± desvio padrão.

3.2 Condutividade

Com os valores médios de condutividade elétrica de cada suco, como mostrados na Tabela 6 e Tabela 7, foi construído o gráfico representado pela Figura 6. Os ajustes lineares foram realizados para os oito sucos e todos os coeficientes de determinação (R^2) obtiveram bons valores, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 6: Dados de condutividade elétrica (σ) (ms/cm) dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.

T (°C)	Maracujá	Melão	Abacaxi	Caju
5	0,525 ± 0,001	3,072 ± 0,001	0,783 ± 0,001	0,485 ± 0,001
10	0,608 ± 0,001	3,588 ± 0,002	0,897 ± 0,001	0,555 ± 0,001
20	0,785 ± 0,001	4,431 ± 0,001	1,152 ± 0,001	0,715 ± 0,001
30	0,968 ± 0,001	5,515 ± 0,001	1,437 ± 0,001	0,881 ± 0,001
40	1,159 ± 0,001	6,710 ± 0,001	1,712 ± 0,001	1,056 ± 0,001
50	1,356 ± 0,001	8,006 ± 0,002	2,007 ± 0,001	1,254 ± 0,001
60	1,550 ± 0,001	9,108 ± 0,008	2,304 ± 0,002	1,435 ± 0,001

70	1,757 ± 0,001	10,287 ± 0,012	2,611 ± 0,002	1,634 ± 0,001
80	1,949 ± 0,002	11,487 ± 0,006	2,931 ± 0,003	1,834 ± 0,002
90	2,166 ± 0,001	12,683 ± 0,025	3,233 ± 0,003	2,002 ± 0,005

Tabela 7: Dados de condutividade elétrica (σ) dos sucos naturais de laranja, limão, acerola e goiaba em função da temperatura variando de 5 a 90 °C

T (°C)	Laranja	Limão	Acerola	Goiaba
5	3,5477 ± 0,0006	1,7741 ± 1,2541	1,5141 ± 0,1839	0,8490 ± 0,4703
10	3,9097 ± 0,0006	1,9551 ± 1,3821	1,6686 ± 0,2026	0,9356 ± 0,5183
20	4,7833 ± 0,0006	2,3920 ± 1,6910	2,0415 ± 0,2478	1,1446 ± 0,6341
30	5,7467 ± 0,0015	2,8741 ± 2,0312	2,4527 ± 0,2980	1,3753 ± 0,7618
40	6,6973 ± 0,0050	3,3512 ± 2,3661	2,8586 ± 0,3483	1,6035 ± 0,8875
50	7,7833 ± 0,0031	3,8932 ± 2,7507	3,3220 ± 0,4039	1,8629 ± 1,0317
60	8,7827 ± 0,0031	4,3929 ± 3,1041	3,7485 ± 0,4557	2,1021 ± 1,1642
70	9,6950 ± 0,0010	4,8480 ± 3,4273	4,1377 ± 0,5023	2,3200 ± 1,2853
80	10,7227 ± 0,0031	5,3629 ± 3,7900	4,5764 ± 0,5561	2,5663 ± 1,4214
90	12,0167 ± 0,1365	6,0766 ± 4,2003	5,1384 ± 0,6634	2,9009 ± 1,5822

* Valores expressos como média ± desvio padrão

Figura 6: Dados de condutividade com regressão linear de condutividade elétrica dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.

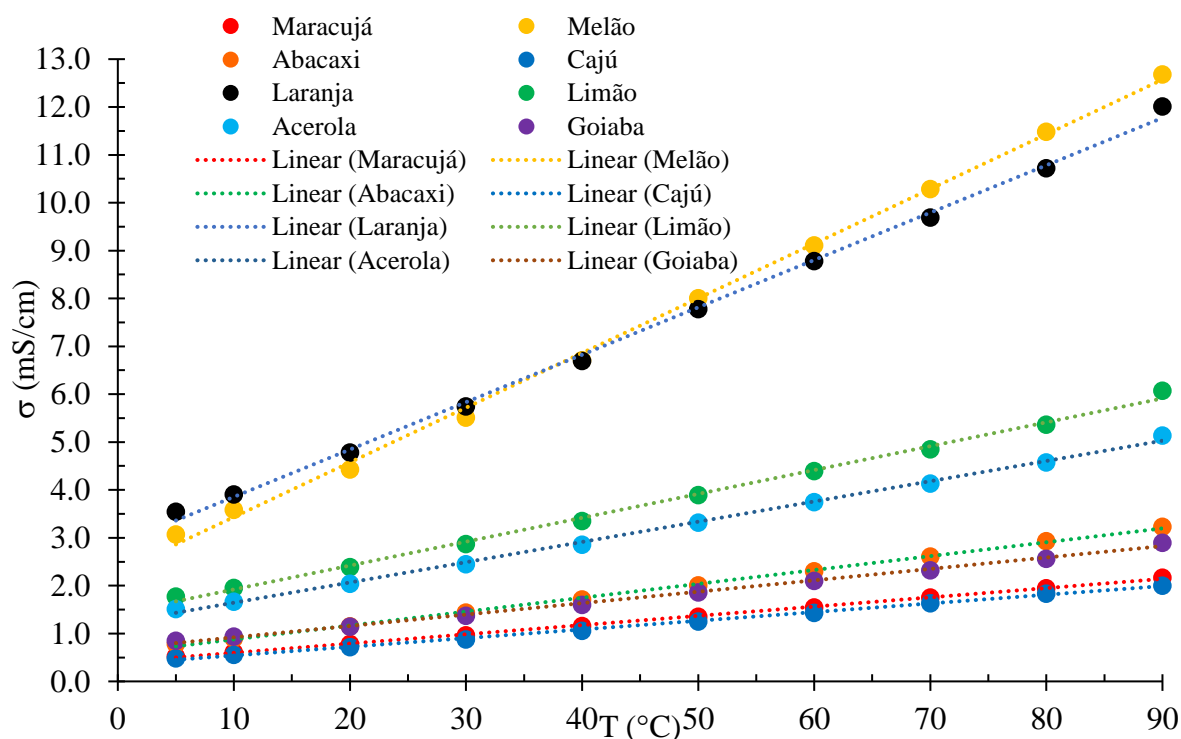


Tabela 8: Parâmetros da regressão linear ($\sigma = a_1 T + a_0$) da condutividade elétrica (ε') dos sucos naturais de maracujá, melão, abacaxi e caju em função da temperatura variando de 5 a 90 °C.

Sucos	a_0 (mS. cm ⁻¹)	a_1 (mS. cm ⁻¹ . C ⁻¹)	σ_{est} (mS. cm ⁻¹)	R^2
Maracujá	0,4038 ± 0,0053	0,01931 ± 0,00010	0,02	0,9992
Melão	2,2906 ± 0,0471	0,11424 ± 0,00088	0,14	0,9983
Abacaxi	0,5880 ± 0,0104	0,02898 ± 0,00019	0,03	0,9987
Caju	0,3602 ± 0,0070	0,01813 ± 0,00013	0,02	0,9985
Laranja	0,5877 ± 0,0102	0,02899 ± 0,00019	0,03	0,9988
Limão	0,8427 ± 0,0082	0,03502 ± 0,00015	0,02	0,9995
Acerola	0,5768 ± 0,0389	0,01999 ± 0,00073	0,11	0,9641
Goiaba	0,3980 ± 0,0126	0,02126 ± 0,00024	0,04	0,9983

Observa-se primeiramente que para todas as amostras, houve um aumento linear na condutividade com o aumento da temperatura, dado que a maiores temperaturas os íons têm menor resistência viscosa à movimentação e maior energia térmica. (SEMAT e KATZ, 1958)

É imprescindível realizar a comparação dos dados da Tabela 1, na qual estão presentes os dados de preparação das amostras com a respectiva diluição e adição de açúcar, com as curvas de condutividade da Tabela 6 e Tabela 7. Observa-se então que o suco de melão e o de laranja, ambos não diluídos e sem adição de açúcar, apresentam os maiores valores de condutividade para todas as temperaturas, seguido do suco de limão. Tal comportamento era esperado pela consequente maior concentração de íons nestas quatro soluções mencionadas, com melão e laranja por não terem sido diluídos e limão devido ao seu pH ser baixo, logo maior concentração de íons H^+ . Entretanto o suco de maracujá apesar de ter sido diluído de 1:6 e o suco de caju de 1:3, o primeiro apresentou condutividade ligeiramente maior que o segundo, comportamento esperado devido a maior acidez suco de maracujá, como pode ser observado na Tabela 4, com o maracujá com pH de 3,06 e o caju com 4,86, o que contribui para aquele com pH menor possuir maior número de íons H^+ , os quais aumentam a condutividade.

3.3 Propriedades Dielétricas

3.3.1 Permissividade Relativa e Fator de Perda

Em posse dos valores médios de permissividade elétrica e fator de perda em função das frequências, obtidos por meio do analisador de rede para os sucos de caju, abacaxi, melão,

maracujá, laranja, limão, acerola e goiaba em determinadas temperaturas, foram elaborados os gráficos representados da Figura 7 à Figura 22.

Observa-se que, conforme a temperatura aumenta, o valor de ϵ' decai, resultado do maior movimento Browniano e, portanto, redução em relação à permissividade relativa dielétrica estática. O mesmo fenômeno foi observado por (NELSON, 2003), quando analisou nove vegetais e frutas nas frequências entre 10 e 1800 MHz e temperaturas entre 15-95 °C.

Figura 7: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de maracujá em função da frequência (f) e da temperatura.

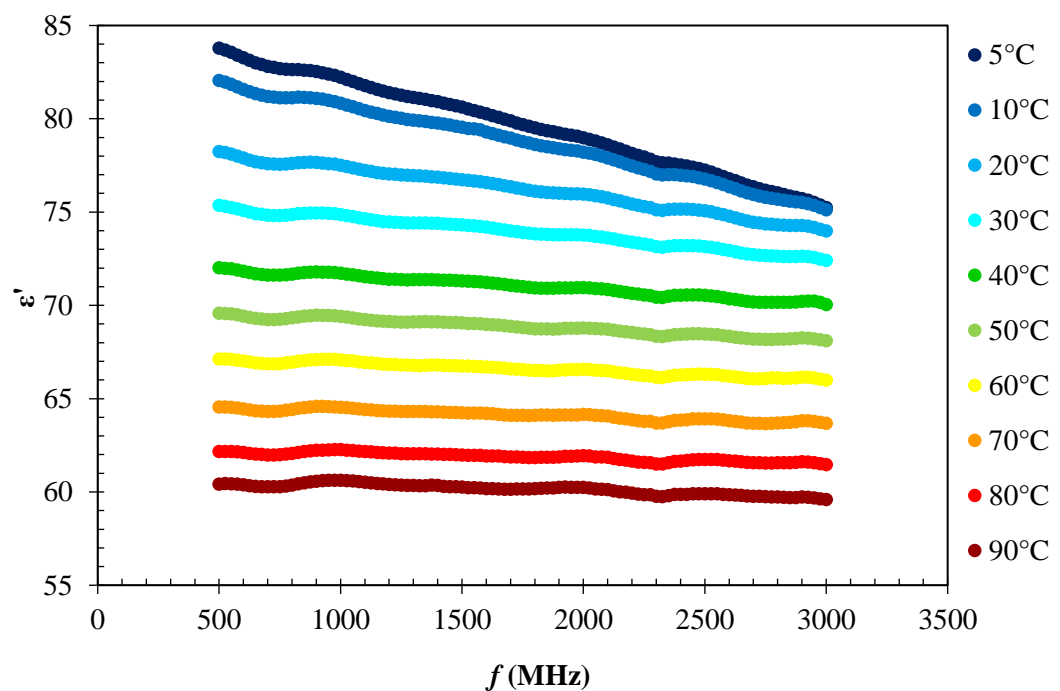


Figura 8: Fator de perda (ϵ'') do suco de maracujá em função da frequência (f) e da temperatura

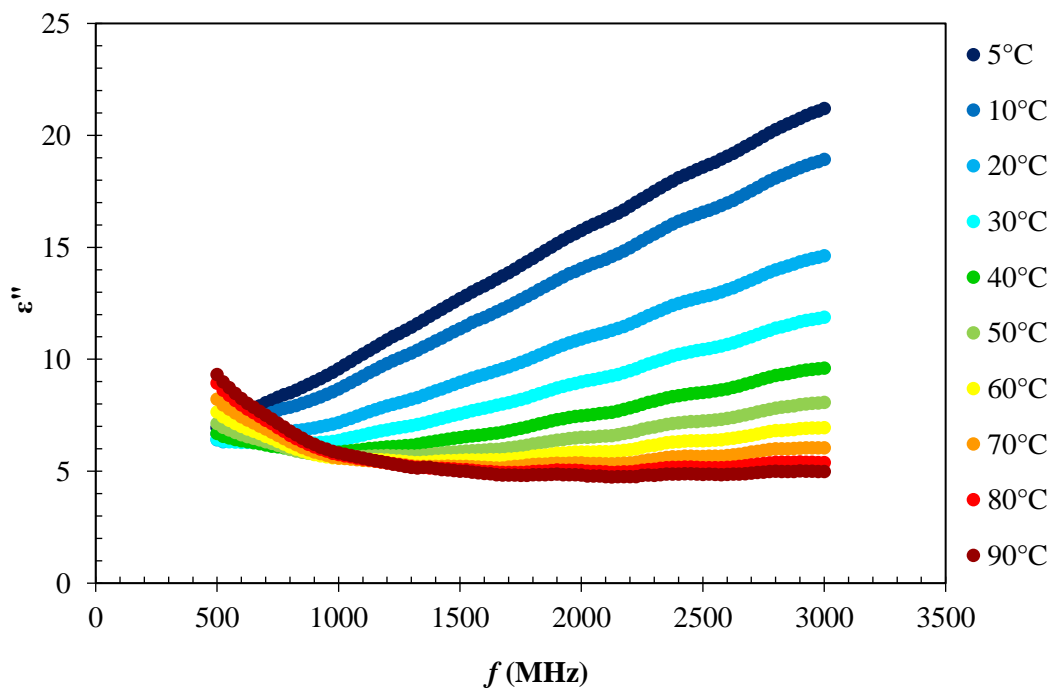


Figura 9: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de melão em função da frequência (f) e da temperatura.

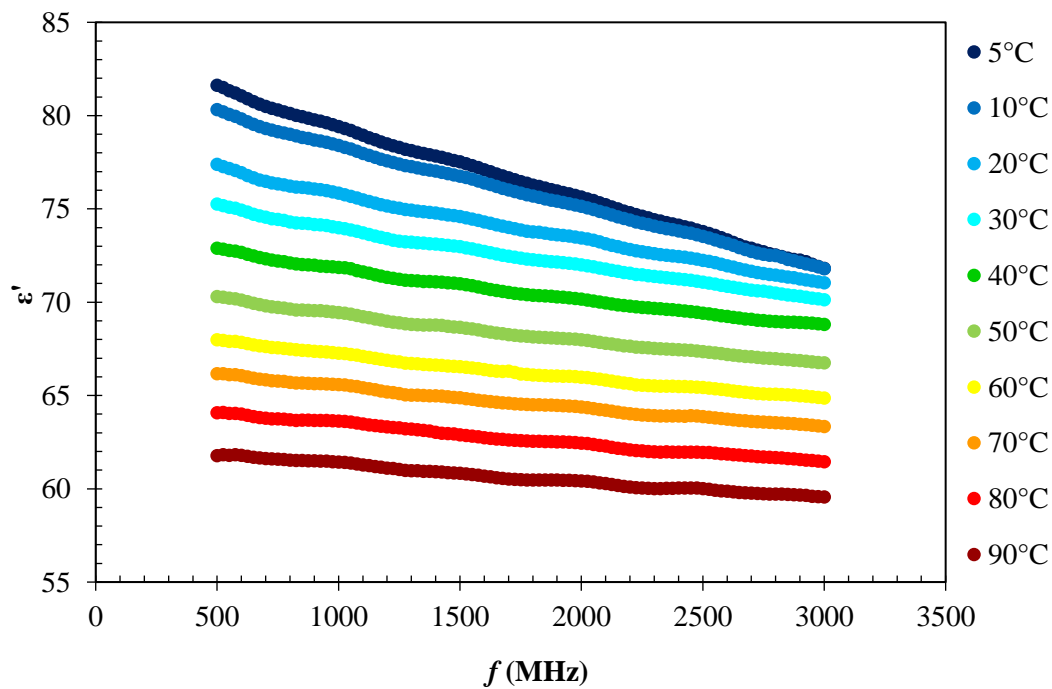


Figura 10: Fator de perda (ϵ'') do suco de melão em função da frequência (f) e da temperatura.

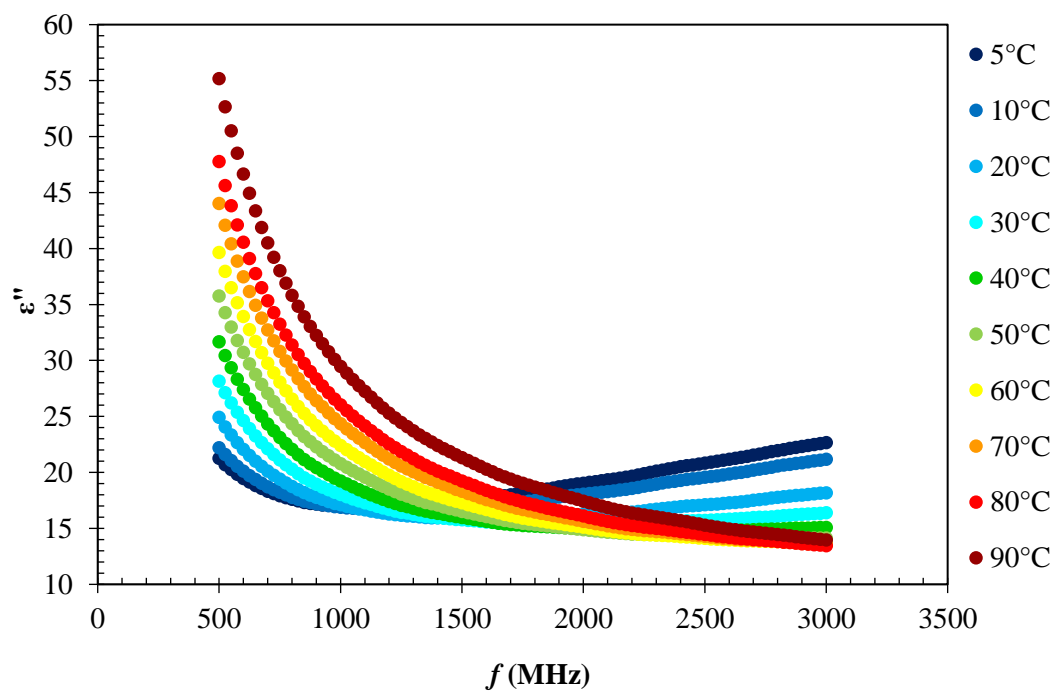


Figura 11: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de abacaxi em função da frequência (f) e da temperatura.

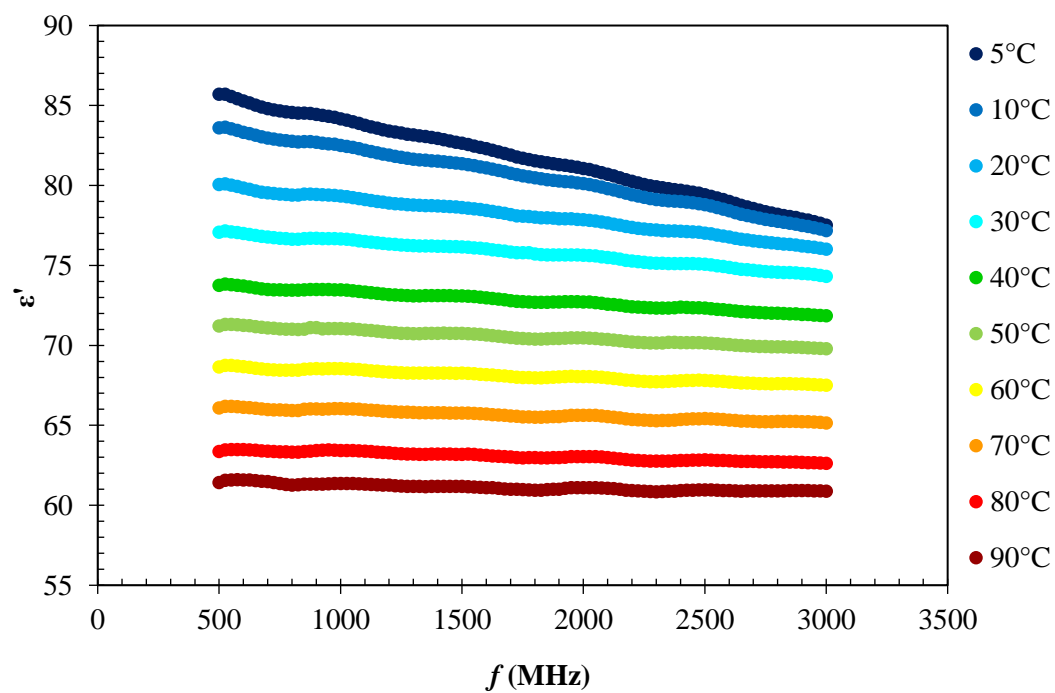


Figura 12: Fator de perda (ϵ'') do suco de abacaxi em função da frequência (f) e da temperatura.

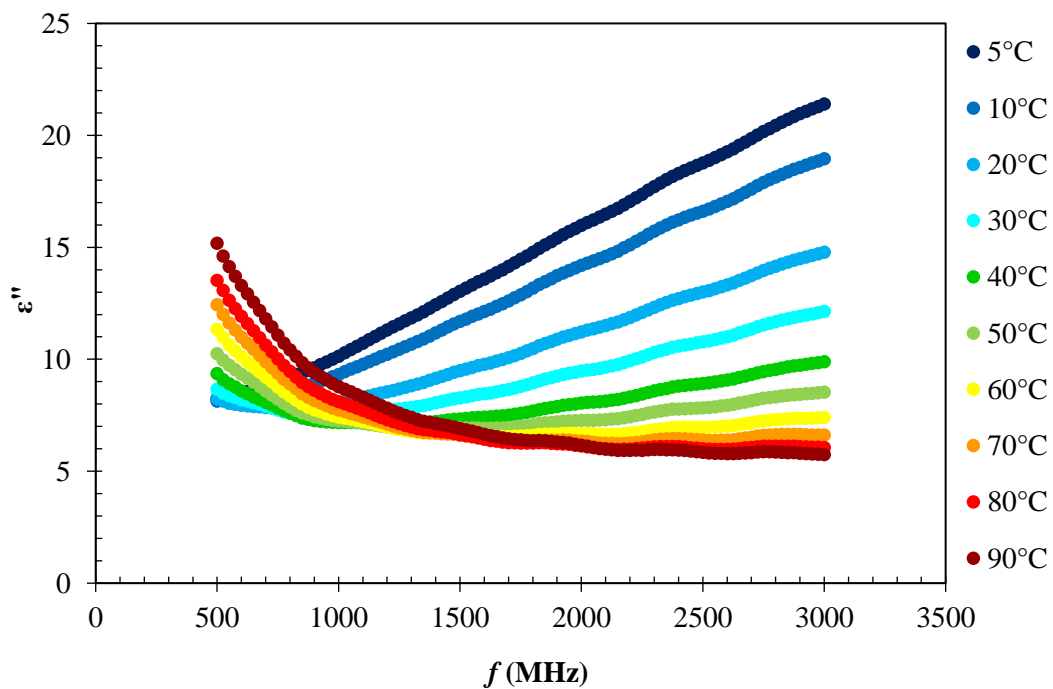


Figura 13: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de caju em função da frequência (f) e da temperatura.

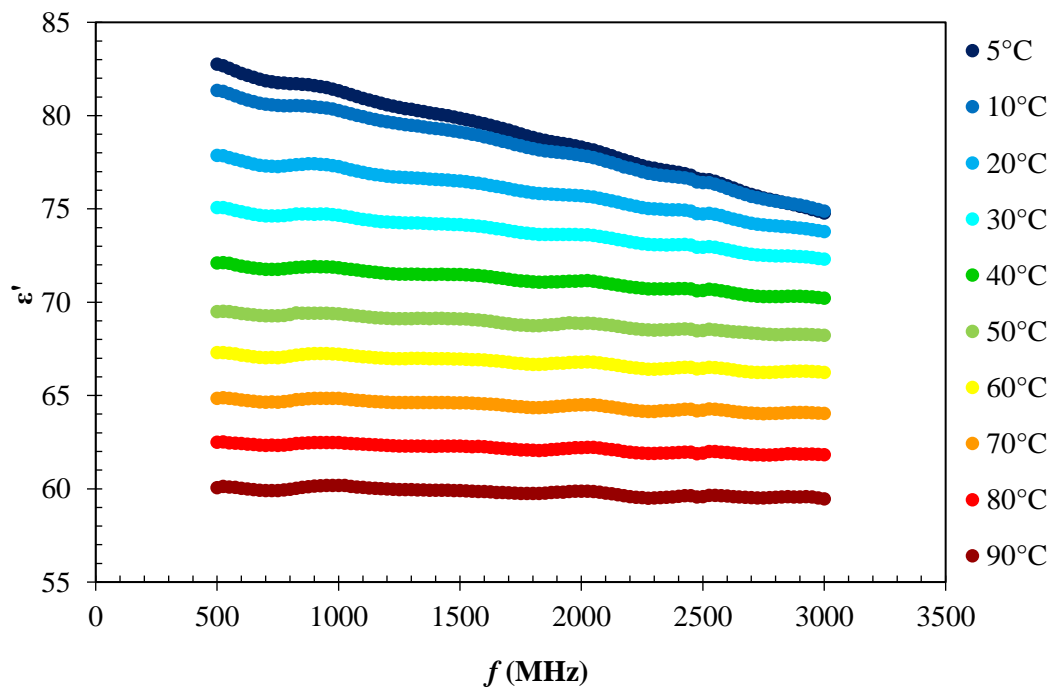


Figura 14: Fator de perda (ϵ'') do suco de caju em função da frequência (f) e da temperatura.

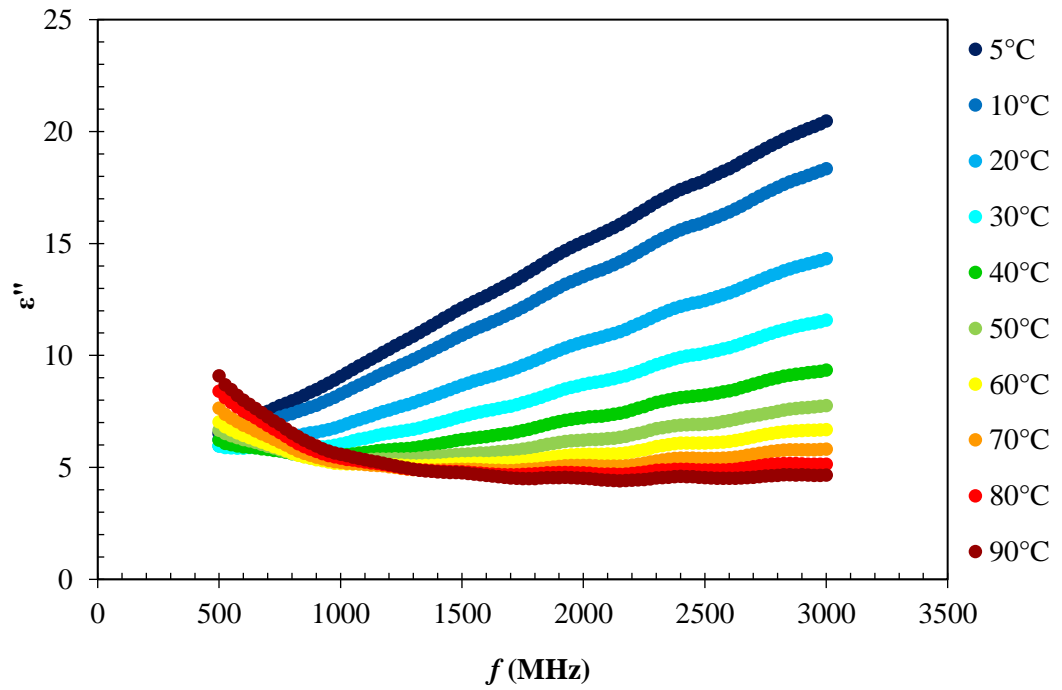


Figura 15: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de laranja em função da frequência (f) e da temperatura.

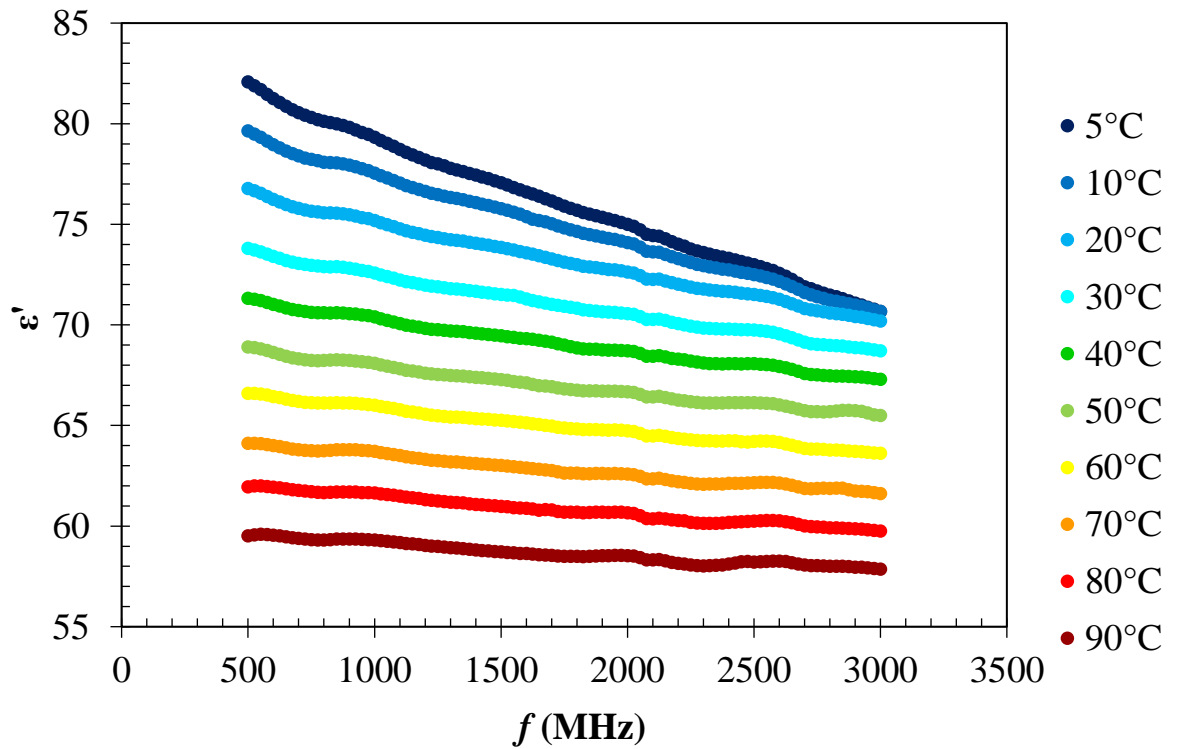


Figura 16: Fator de perda (ϵ'') do suco de laranja em função da frequência (f) e da temperatura.

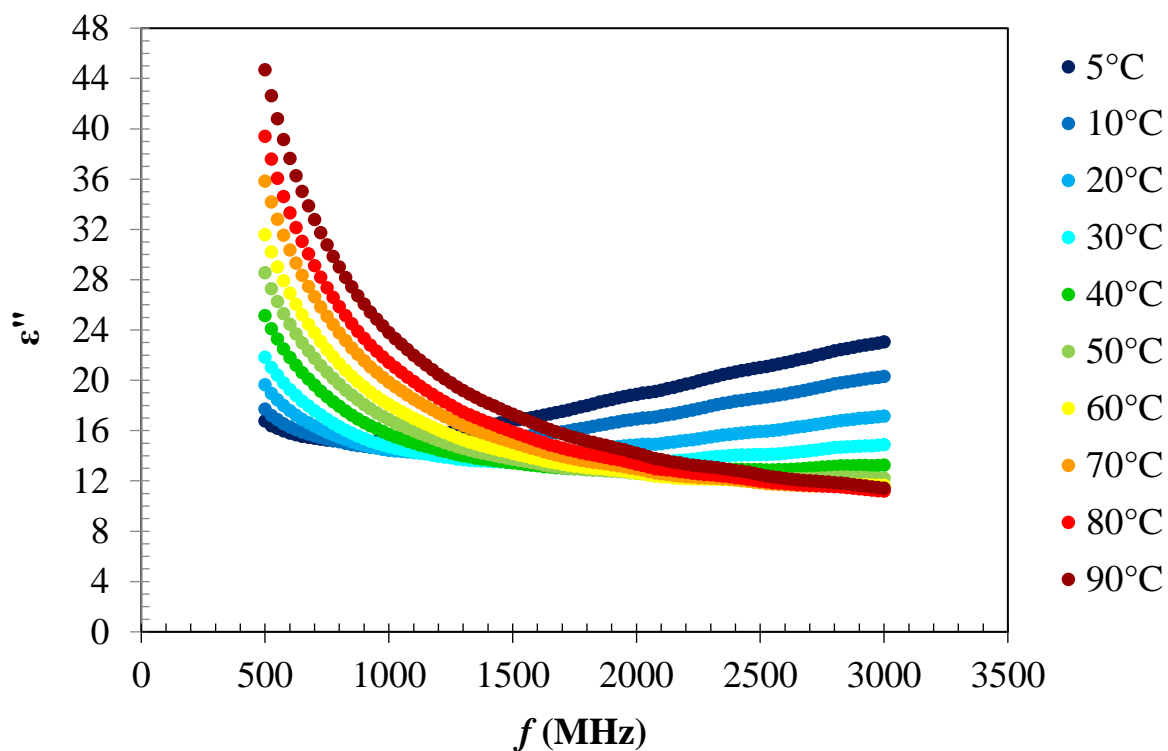


Figura 17: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de limão em função da frequência (f) e da temperatura.

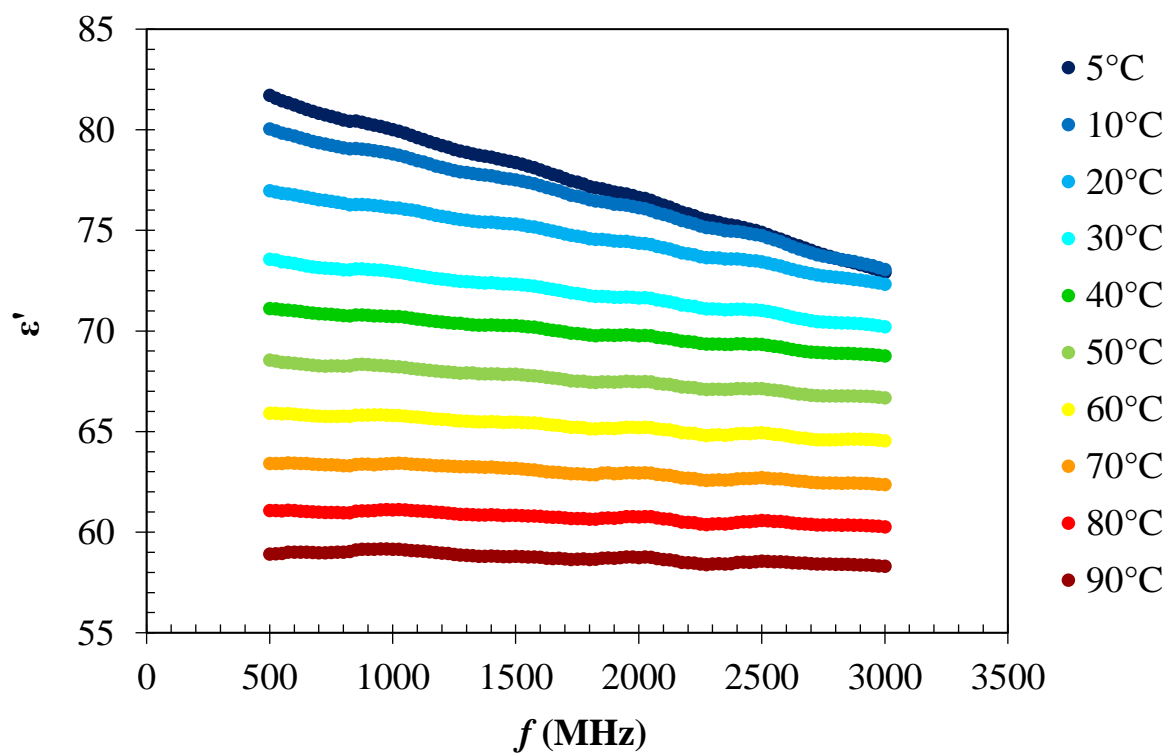


Figura 18: Fator de perda (ϵ'') do suco de limão em função da frequência (f) e da temperatura.

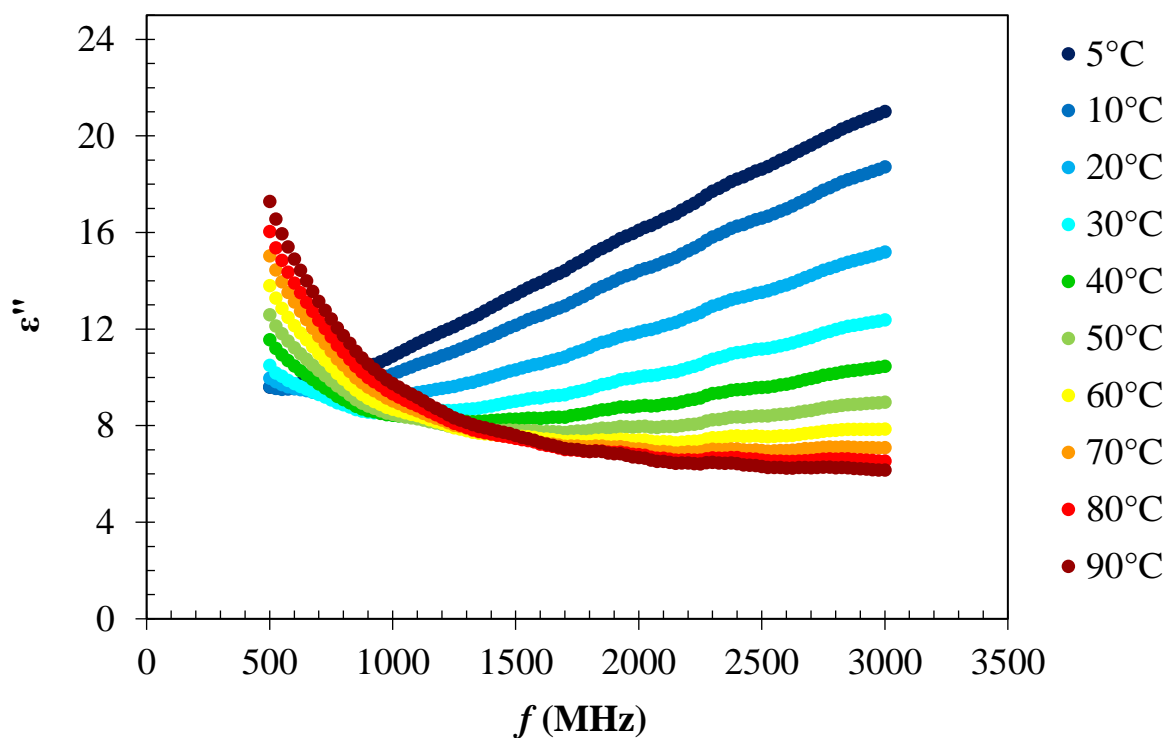


Figura 19: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de acerola em função da frequência (f) e da temperatura.

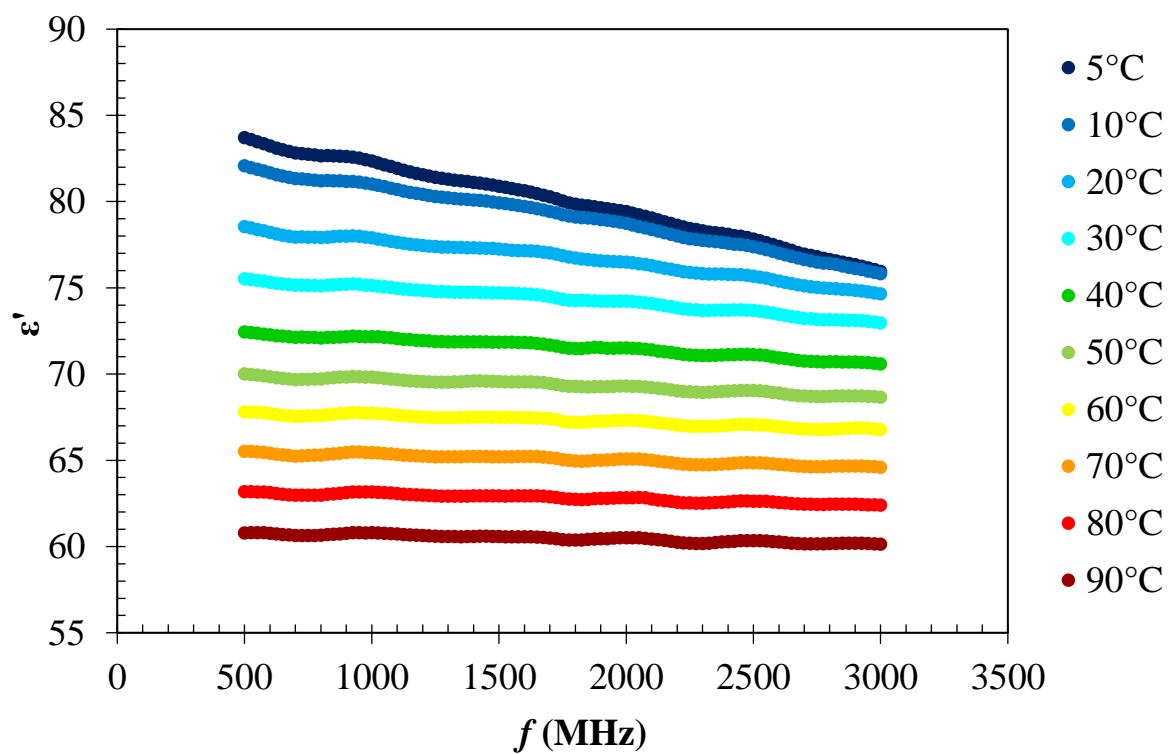


Figura 20: Fator de perda (ϵ'') do suco de acerola em função da frequência (f) e da temperatura.

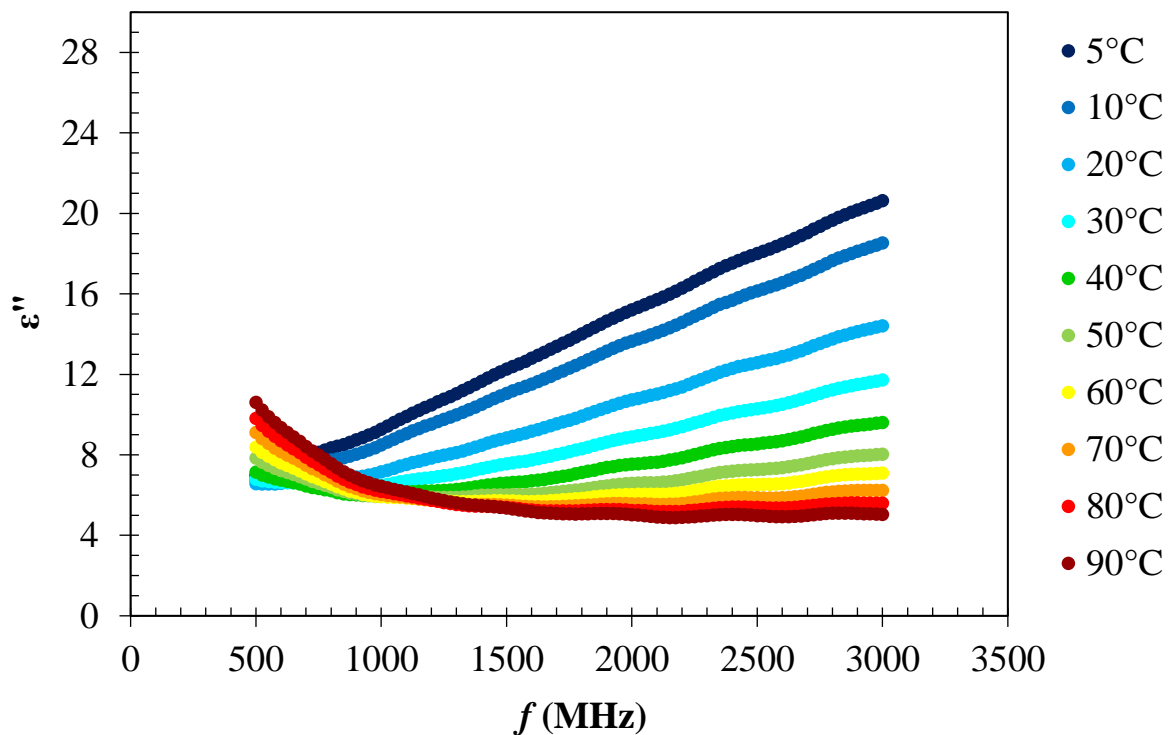


Figura 21: Permissividade dielétrica (ϵ') do suco de goiaba em função da frequência (f) e da temperatura.

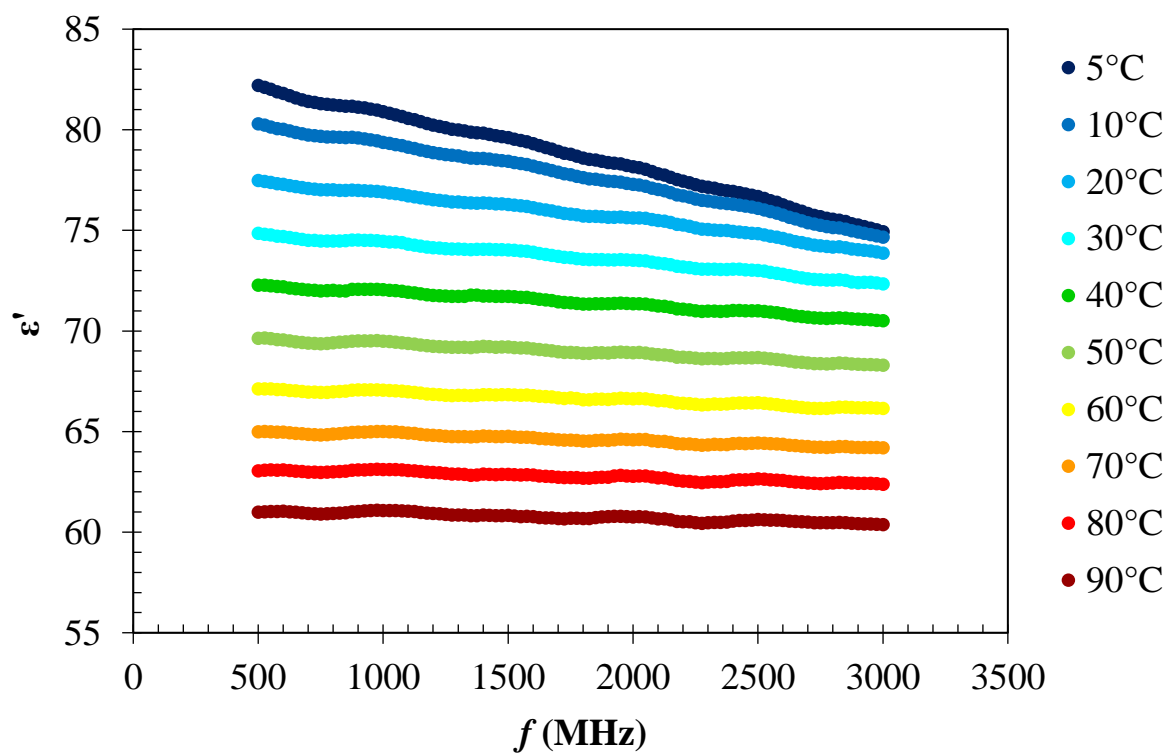
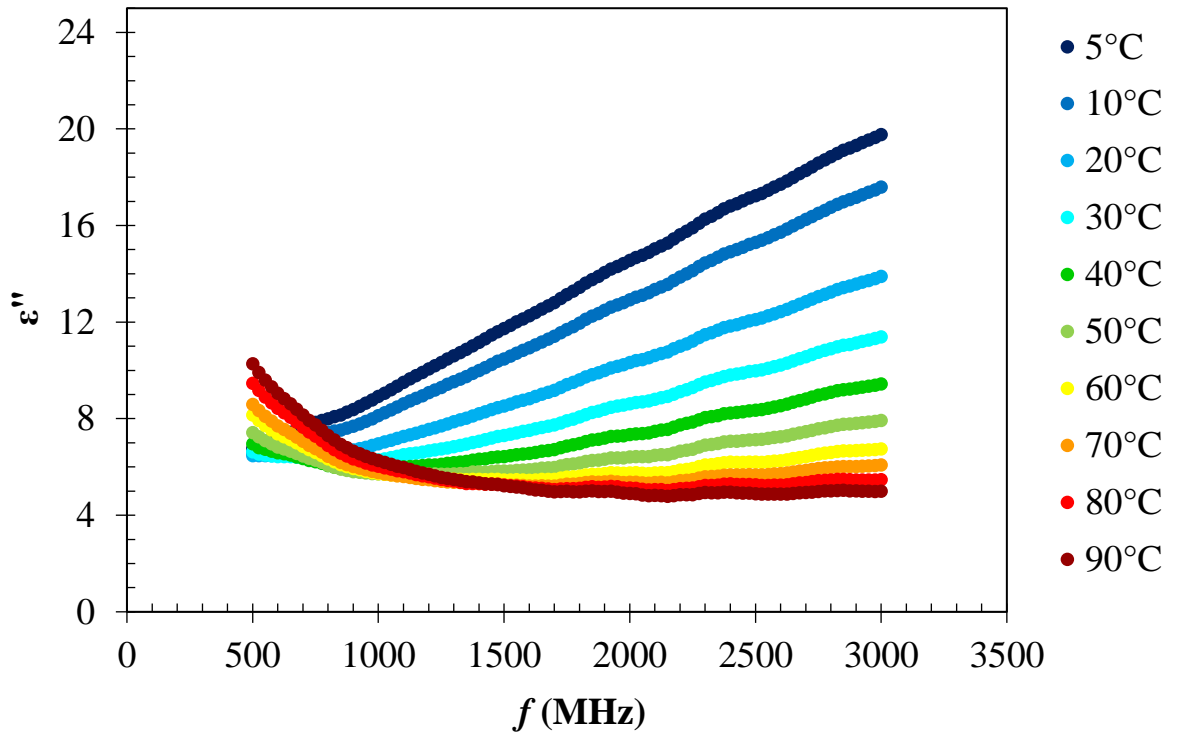


Figura 22: Fator de perda (ϵ'') do suco de goiaba em função da frequência (f) e da temperatura.



Os valores de permissividade se assemelham entre todos os sucos, variando aproximadamente de 85 a 60, com as curvas de decaimento em função da frequência possuindo declividades similares de acordo com a temperatura para todas as amostras. É possível concluir que isto ocorre devido à permissividade dielétrica ser atribuída principalmente ao conteúdo de água presente em todos os sucos. Este comportamento condiz com o estudo feito por (FRANCO, YAMAMOTO, *et al.*, 2015) com água na presença de açúcares e sais, simulando a composição de água de coco.

Ademais da permissividade, é indispensável analisar a contribuição do fator de perda em diferentes temperaturas e frequências, ressaltando que quanto maior o fator de perda dielétrico, maior será a taxa de conversão em energia térmica pelo material e maior será a taxa de incremento na temperatura (ZHU, GUO e WU, 2012). Pode-se observar para todos os sucos que em baixas frequências o maior valor de ϵ'' corresponde às maiores temperaturas, sendo que com o aumento da frequência observa-se uma diminuição do ϵ'' para valores mínimos, enquanto as isotermas de baixas temperaturas crescem com o incremento de frequência. Importante notar que as isotermas não apresentam seu valor mínimo na frequência de 500 MHz, mas o comportamento majoritário delas é apresentar este valor mais baixo em uma frequência

intermediária entre 500 e 3000 MHz, em um ponto de inflexão a partir do qual o valor do fator de perda subirá até um valor máximo em 3000 MHz. Este comportamento das isotermas mais baixas é melhor ilustrado na Figura 10, correspondente ao suco de melão.

3.3.2 Profundidade de Penetração

O cálculo da profundidade de penetração foi realizado por meio da Equação 5, presente na seção 1.2.4, valor que varia de acordo com a frequência e temperatura, para todas amostras analisadas, como é mostrado da Figura 23 à Figura 30.

De forma geral, a profundidade de penetração diminui com o aumento da frequência. Entretanto há uma nítida mudança na dependência com a temperatura, para uma frequência fixa. Nas menores frequências, a profundidade de penetração diminui com o aumento de temperatura, enquanto que nas frequências mais altas, a profundidade de penetração aumenta com a temperatura. O segundo comportamento é mais desejável já que, como o aquecimento do alimento, a radiação passa a penetrar mais profundamente, promovendo um aquecimento mais homogêneo. No caso de baixas frequências, a profundidade de penetração diminui com o aquecimento, o que pode deixar o material com uma distribuição não uniforme de temperatura. Em todo caso, vale destacar que as profundidades maiores são encontradas nas frequências menores e que o padrão de aquecimento do material dependerá fortemente de suas dimensões e formato.

Figura 23: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de maracujá em função da frequência e da temperatura.

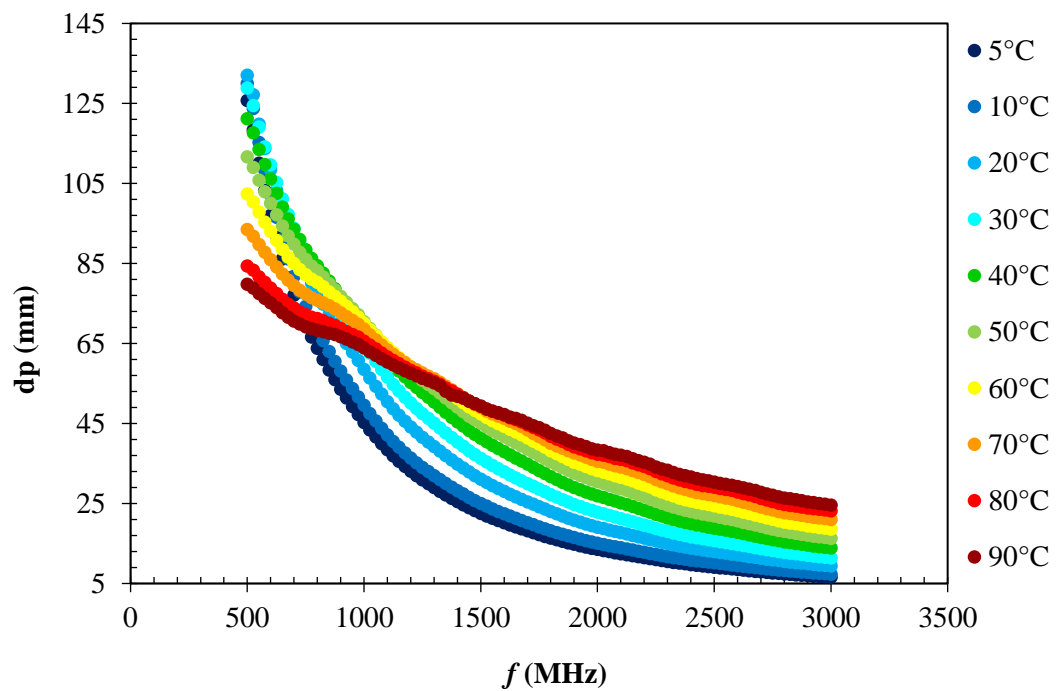


Figura 24: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de melão em função da frequência e da temperatura.

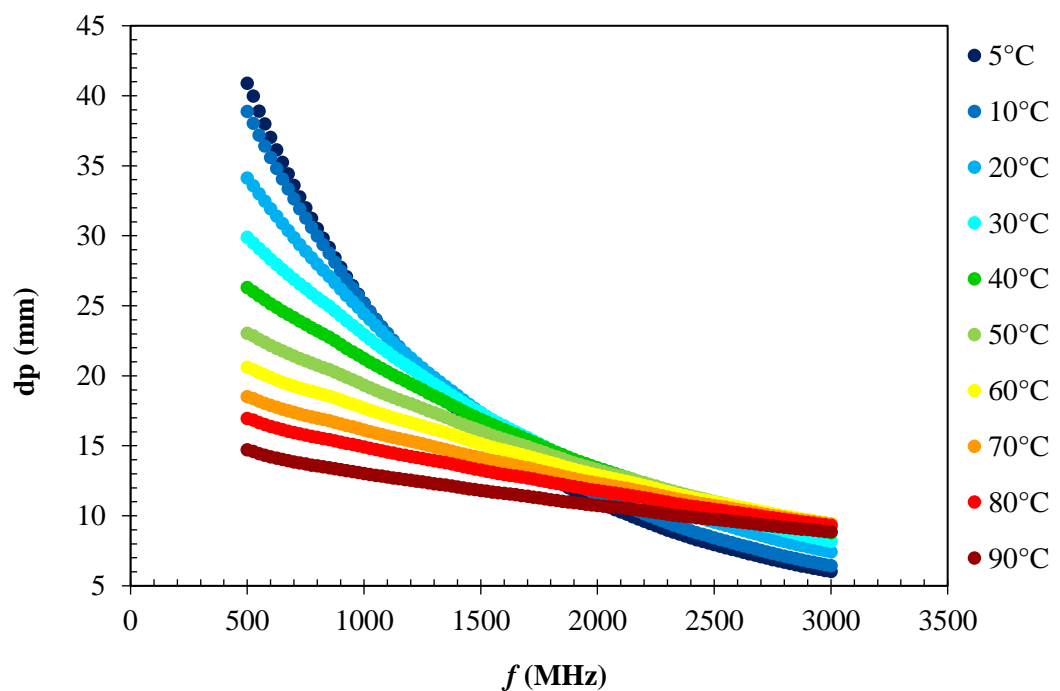


Figura 25: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de abacaxi em função da frequência e da temperatura.

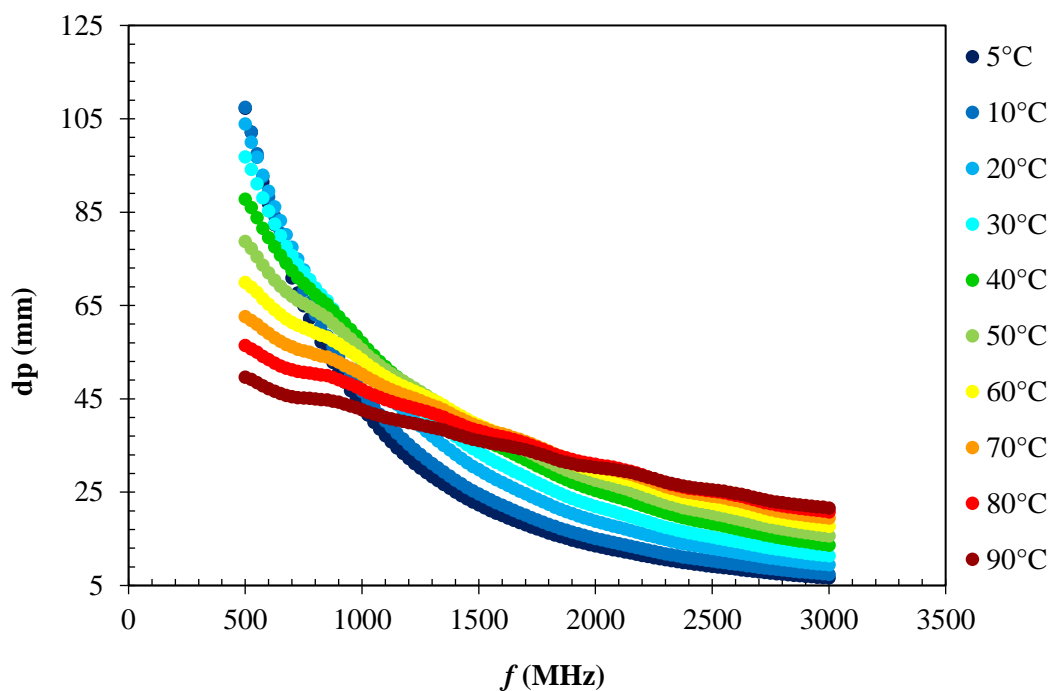


Figura 26 Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de caju em função da frequência e da temperatura.

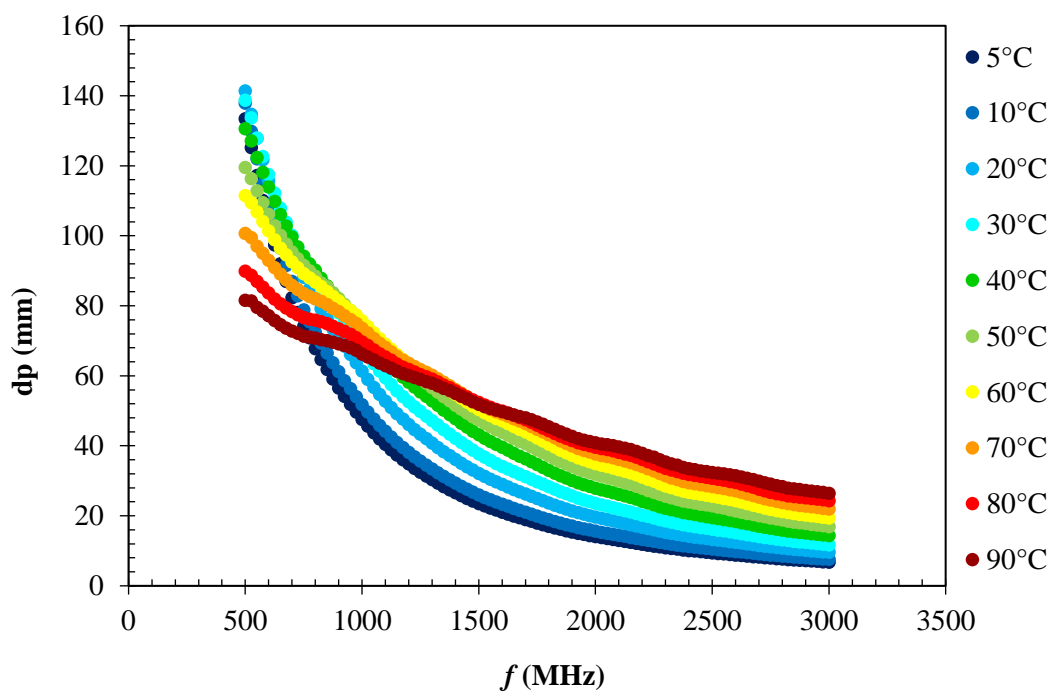


Figura 27: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de laranja em função da frequência e da temperatura.

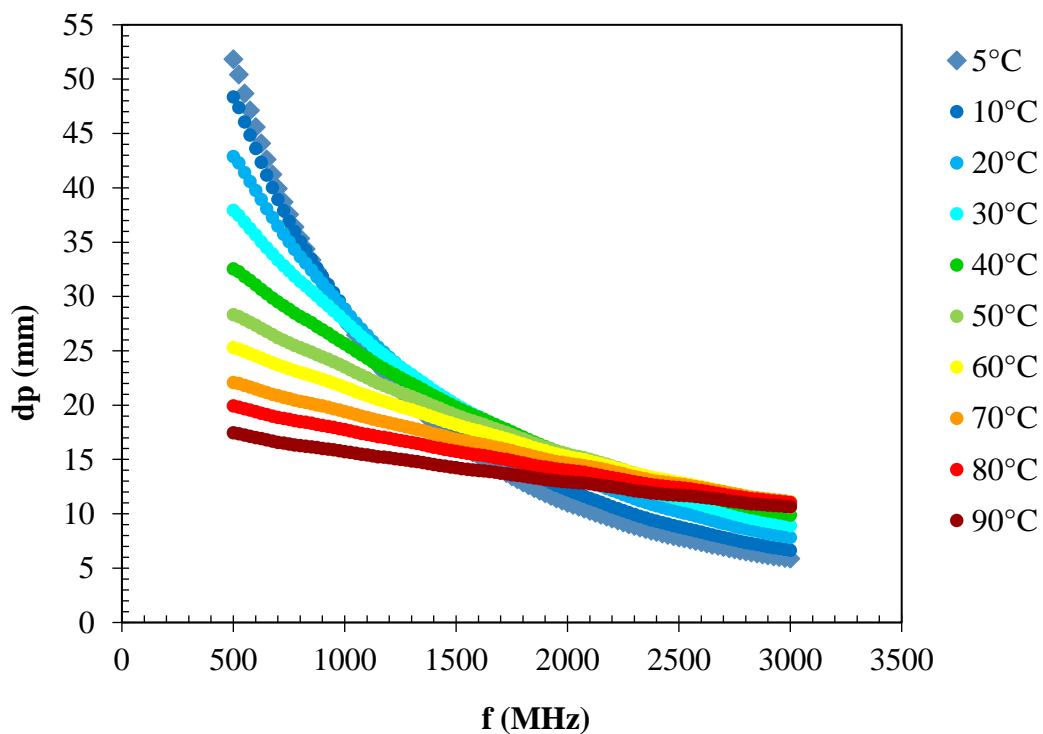


Figura 28: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de limão em função da frequência e da temperatura.

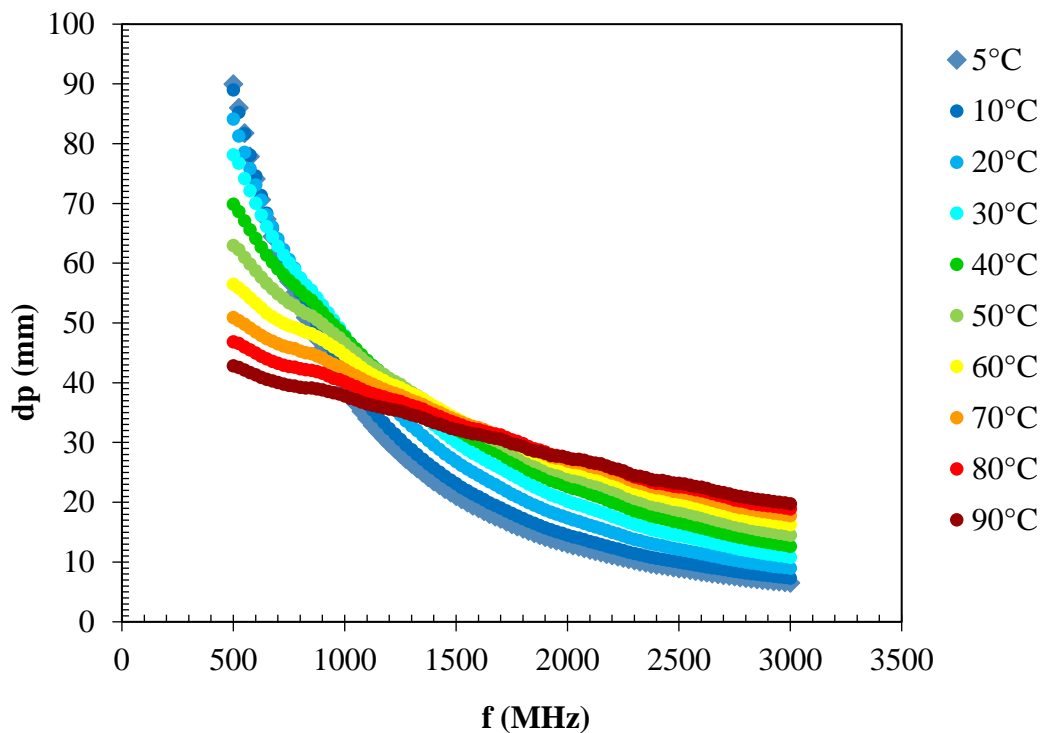


Figura 29: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de acerola em função da frequência e da temperatura.

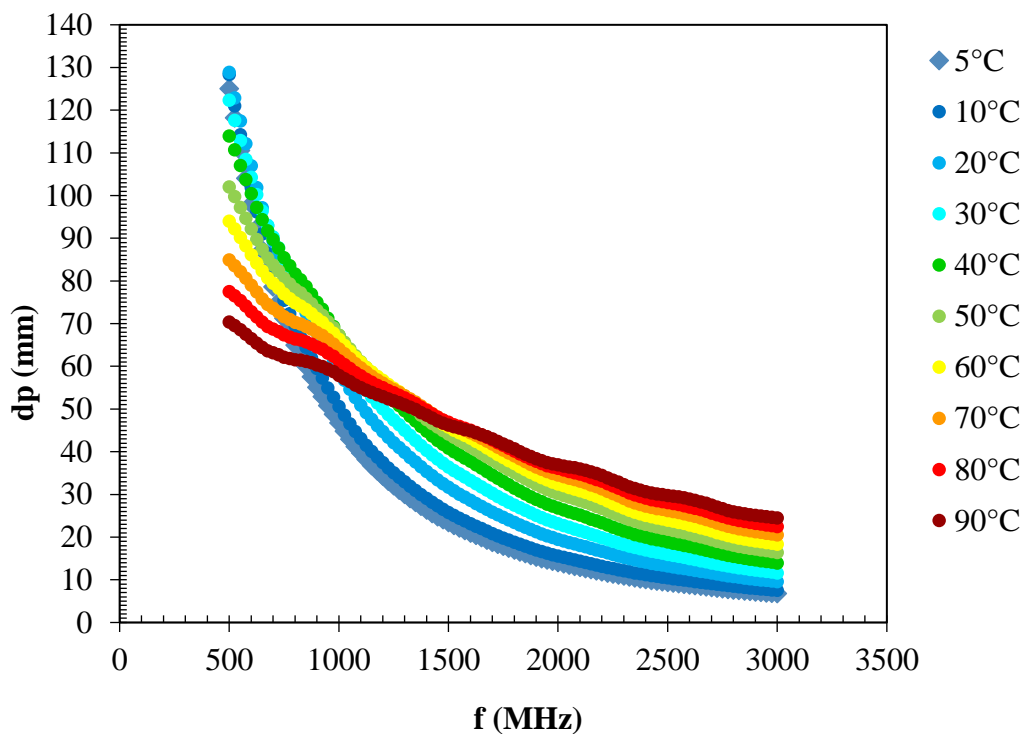
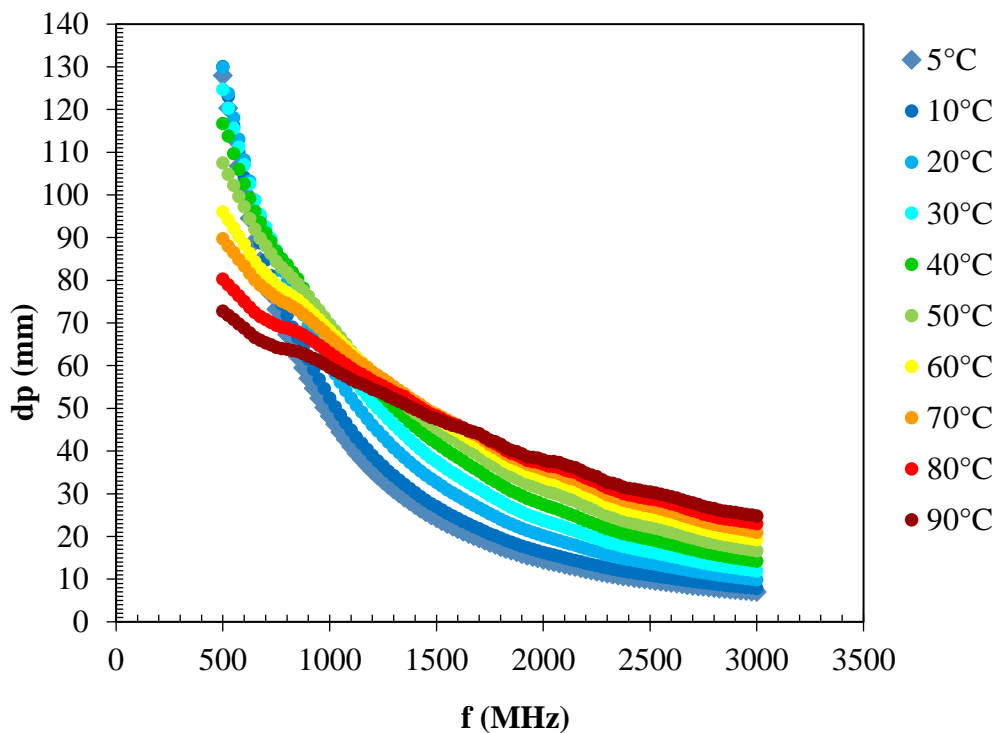


Figura 30: Profundidade de penetração das micro-ondas calculadas para o suco de goiaba em função da frequência e da temperatura.



3.3.3 Gráficos Cole-Cole

Da Figura 31 à Figura 38, temos os diagramas de Cole-Cole para todos os sucos (fator de perda em função da permissividade). Pode-se observar que em todas as figuras há isotermas que apresentam um ponto de inflexão com mínima perda, sejam elas a de maior ou menor temperatura, por exemplo as isotermas de 40 °C a 90 °C na Figura 31, e de forma ainda mais nítida as de 40 °C e 50 °C na Figura 33. Este comportamento está relacionado à mudança do mecanismo predominante de perda iônica para dipolar, sendo que em menores temperaturas predomina-se o iônico e em maiores o dipolar.

Para a frequência de 915 MHz observa-se que o fator de perda aumenta conforme a temperatura diminui, o que é conhecido como o fenômeno de “temperature leveling effect”, caracterizado pelo fato de quando uma parte do alimento está mais aquecida em relação as outras, esta parte terá consequentemente seu fator de perda menor em relação às partes mais frias, o que resulta em menor conversão de energia de micro-ondas em energia térmica nas partes mais quentes e maior conversão nas partes mais frias, auxiliando o material a ter um aquecimento mais uniforme. (TANG e TSE, 2007)

Na frequência de 2450 MHz observa-se que o fator de perda aumenta com o aumento da temperatura, sendo então caracterizado como o fenômeno de “thermal runaway”, no qual a parte do alimento que possui a maior temperatura tem maior taxa de aquecimento em relação às outras partes mais frias, o que resulta em um aquecimento mais heterogêneo do material em contraste com o ocorrido na frequência de 915 MHz. (TANG e TSE, 2007)

Figura 31: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de maracujá.

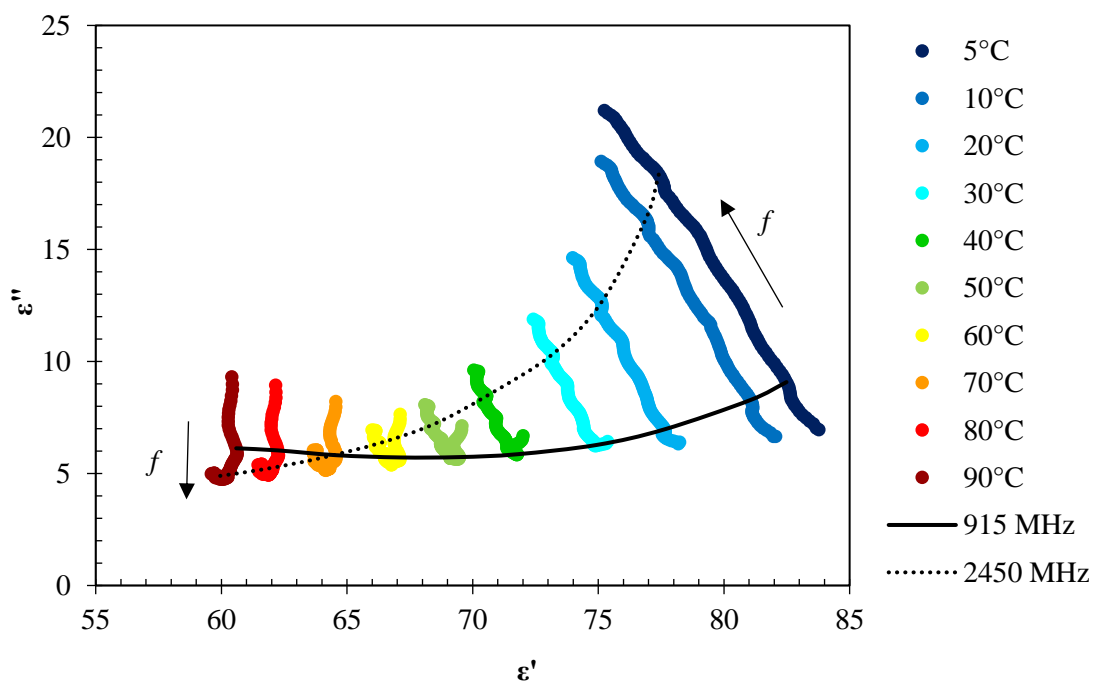


Figura 32: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de melão.

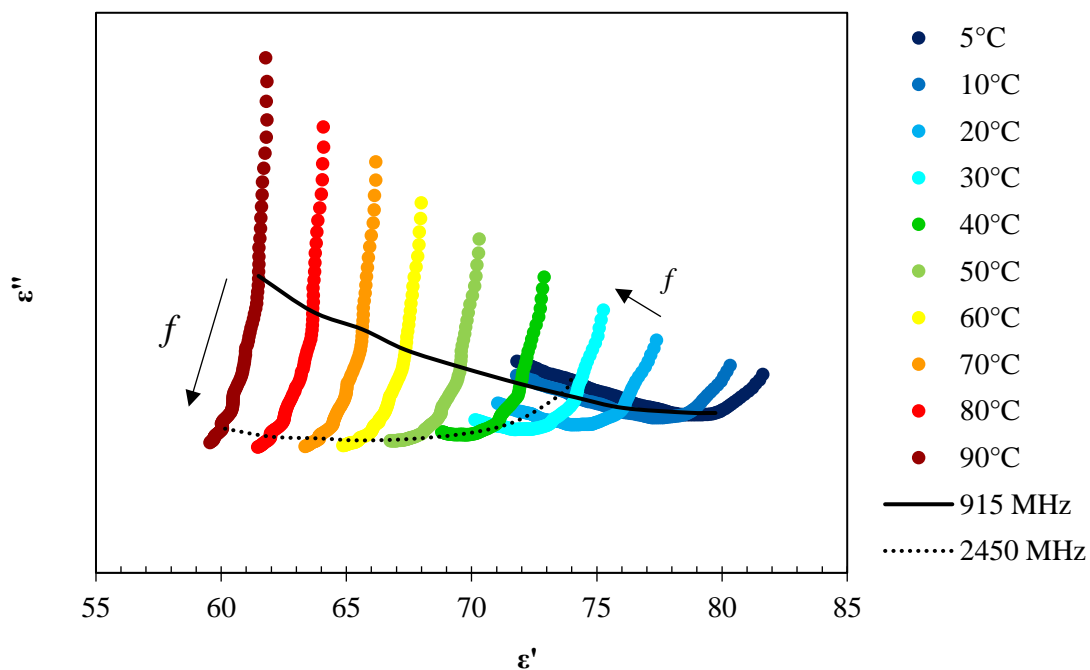


Figura 33: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de abacaxi.

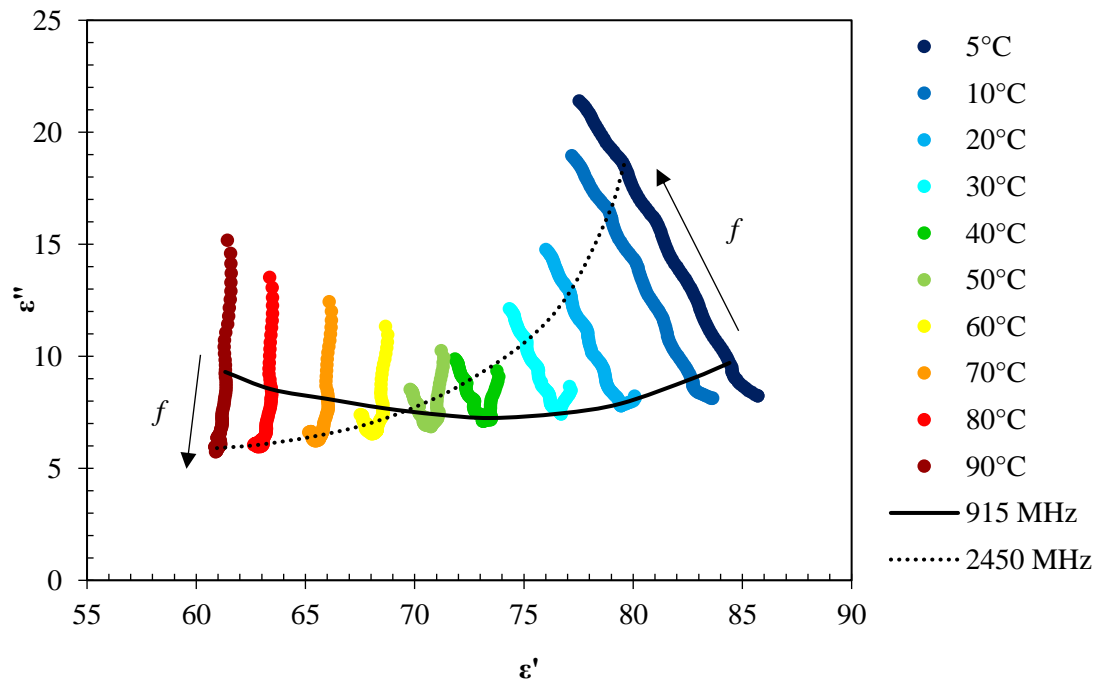


Figura 34: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de caju.

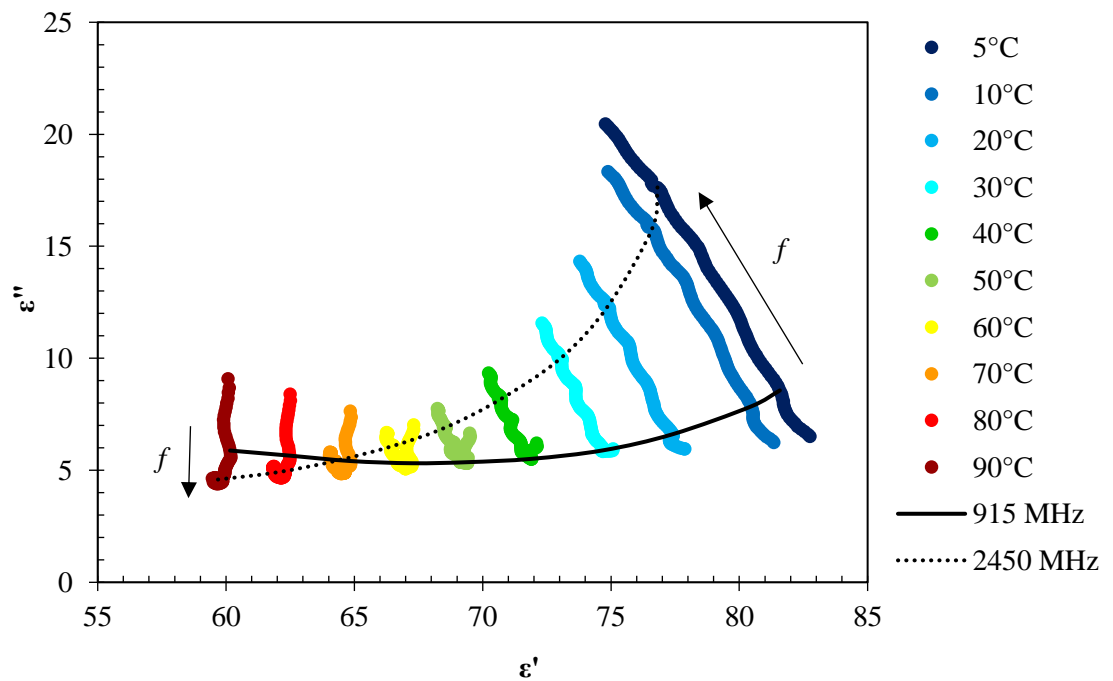


Figura 35: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de laranja.

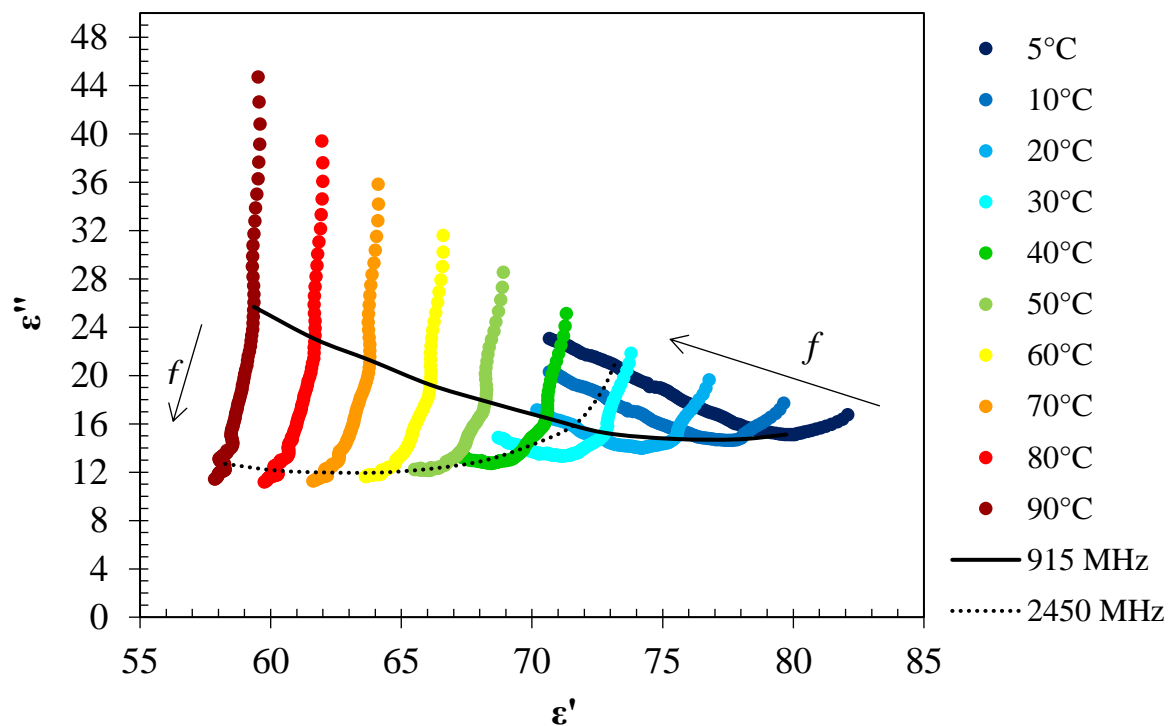


Figura 36: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de limão.

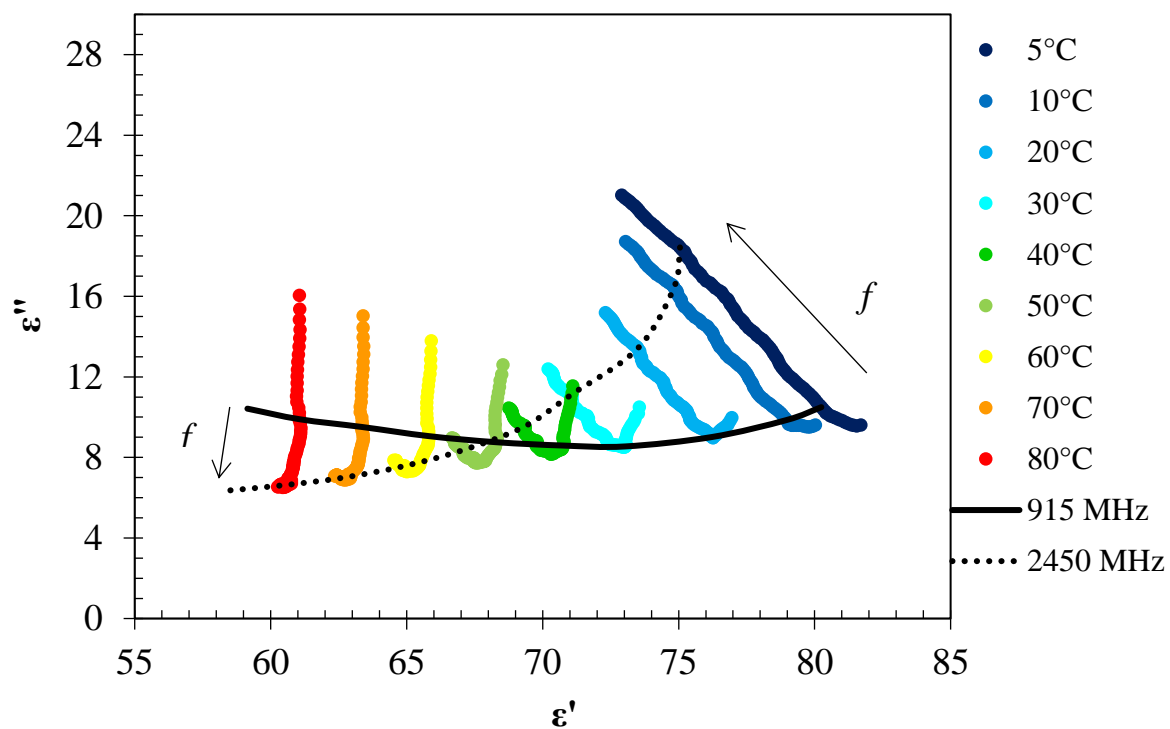


Figura 37: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de acerola.

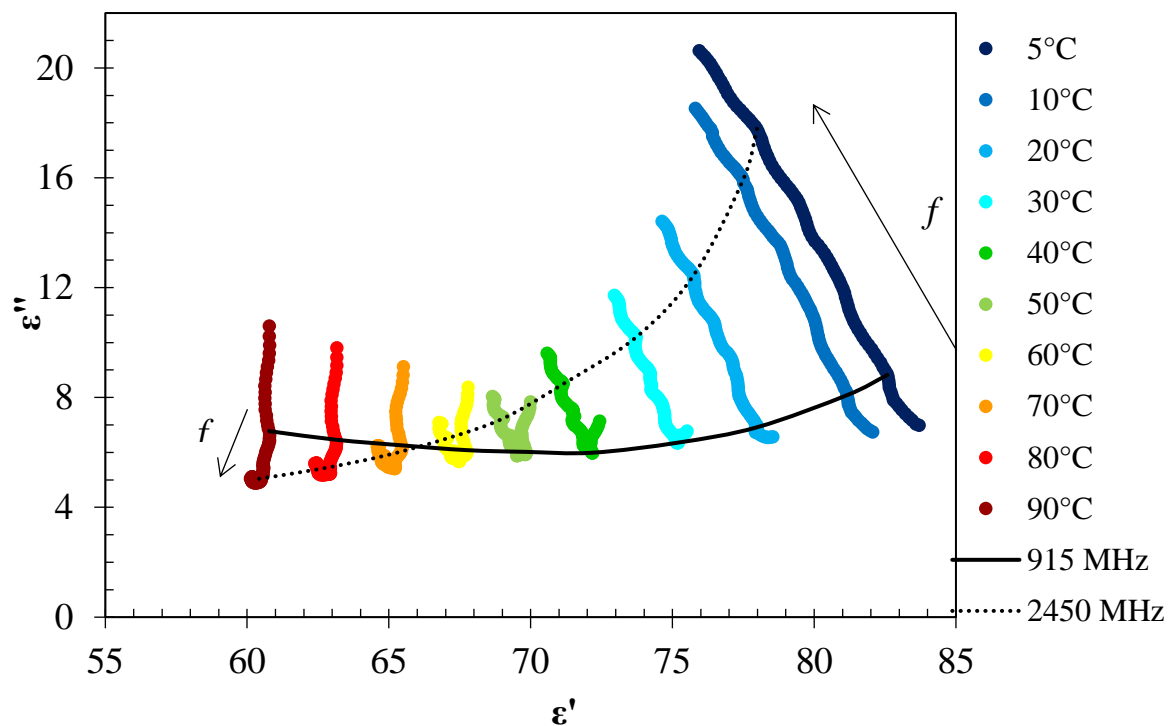
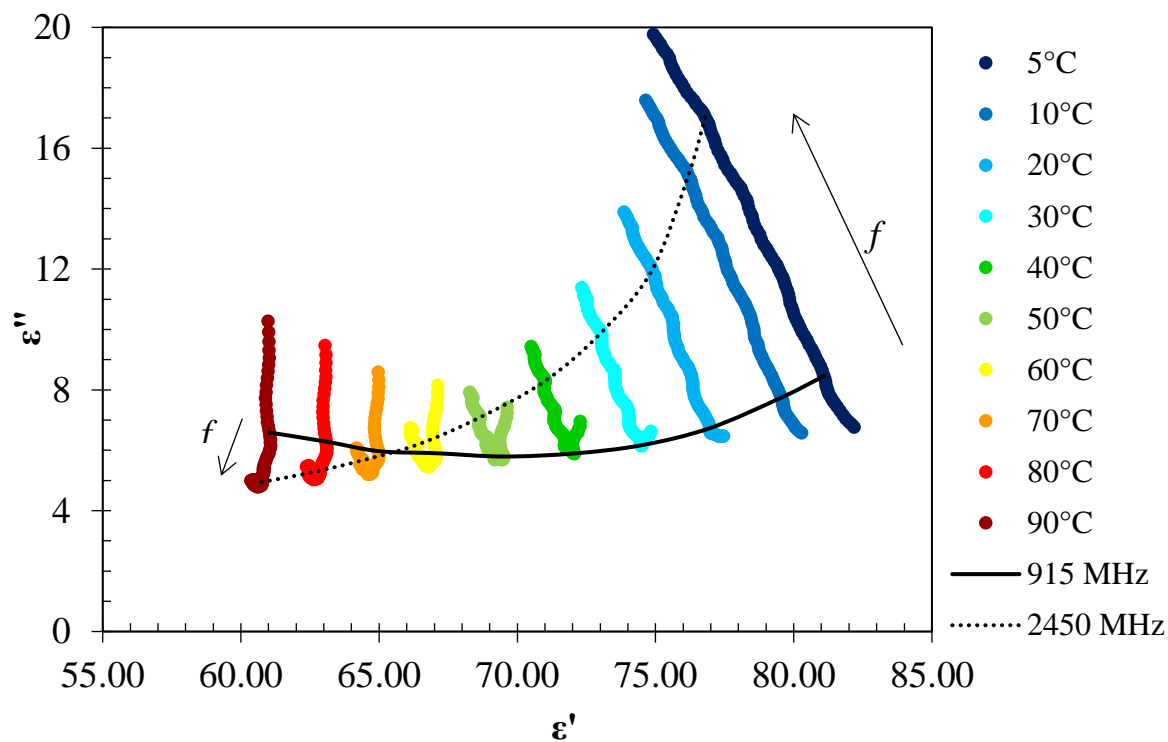


Figura 38: Representação Cole-Cole dos dados de permissividade dielétrica e fator de perda suco de goiaba.



3.3.4 Frequências Comerciais

Frente à realidade de que as frequências comerciais de micro-ondas mais adotadas na indústria são de 915 MHz e 2450 MHz, deve-se analisar as propriedades dielétricas dos sucos nestes dois valores, análise apresentada nas seções 3.3.4.1 e 3.3.4.2.

3.3.4.1 Para a frequência de 915 MHz.

Da Figura 39 à Figura 43, apresentam os dados de permissividade dielétrica e fator de perda referentes à frequência comercial de 915 MHz em função da temperatura.

Figura 39: Permissividade dielétrica dos sucos naturais na frequência de 915 MHz em função da temperatura.

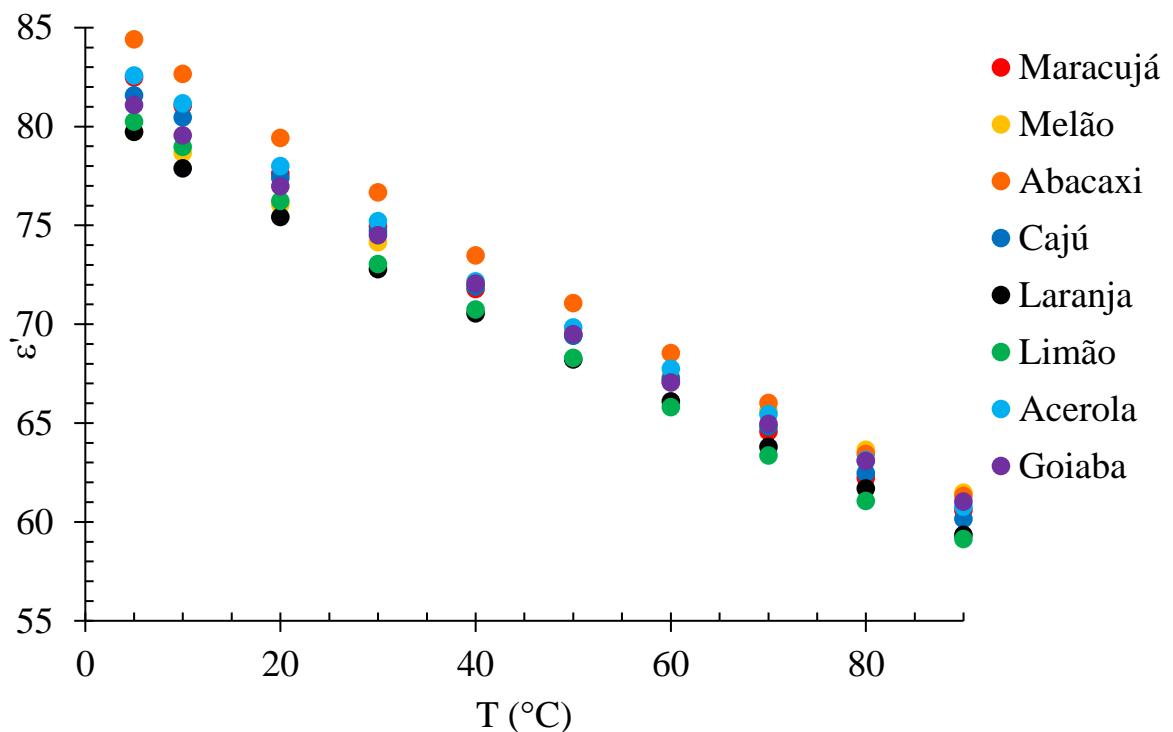


Figura 40: Fator de perda dielétrica dos sucos naturais na frequência de 915 MHz em função da temperatura.

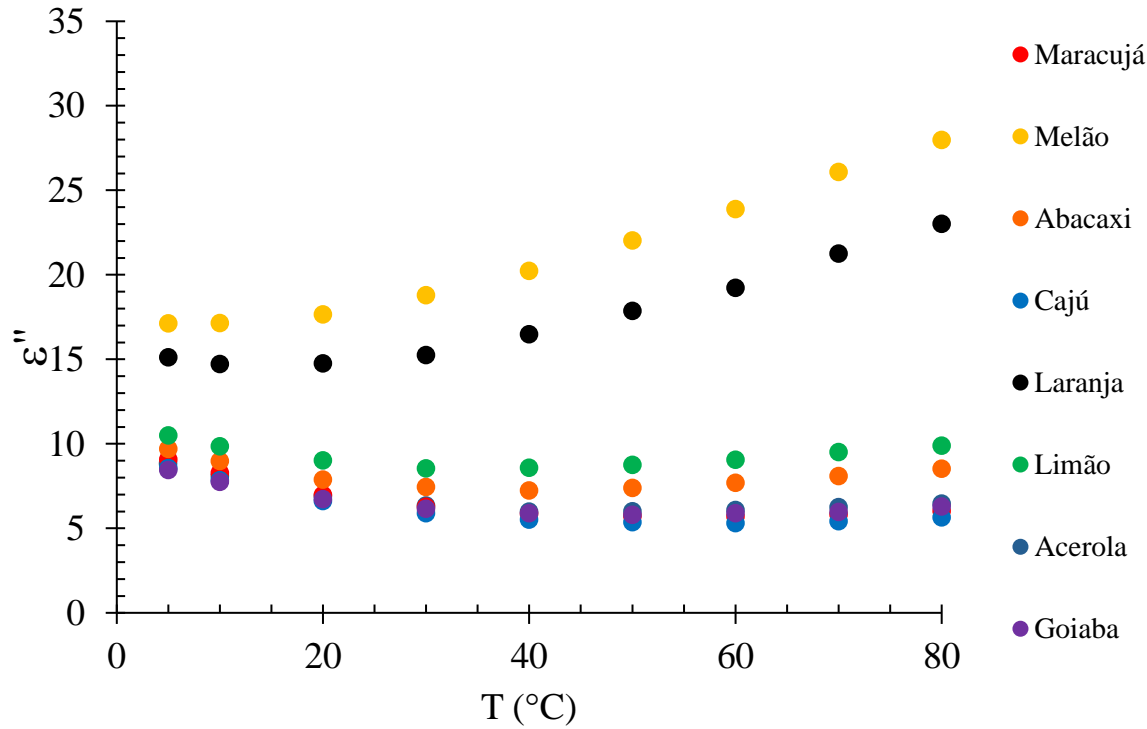


Figura 41: Profundidade de penetração (dp) nos sucos naturais na frequência de 915 MHz em função da temperatura.

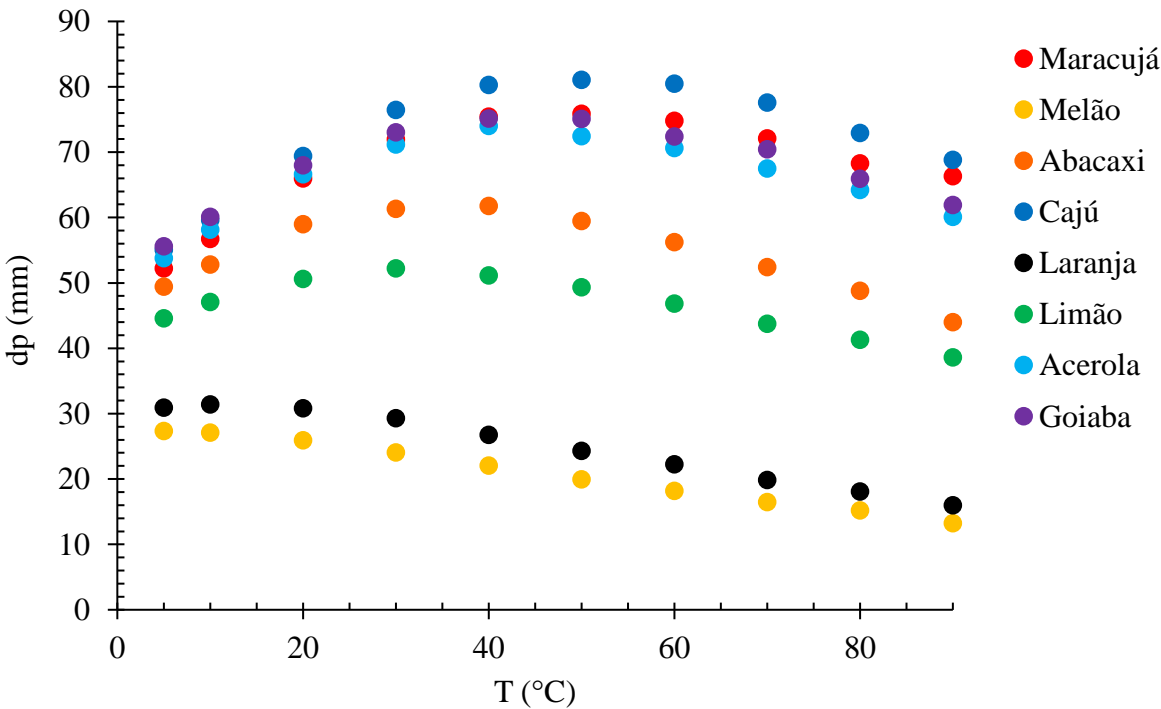


Figura 42: Fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (símbolos vazios) e dipolar (ϵ''_d) (símbolos preenchidos) dos sucos naturais na frequência de 915 MHz em função da temperatura.

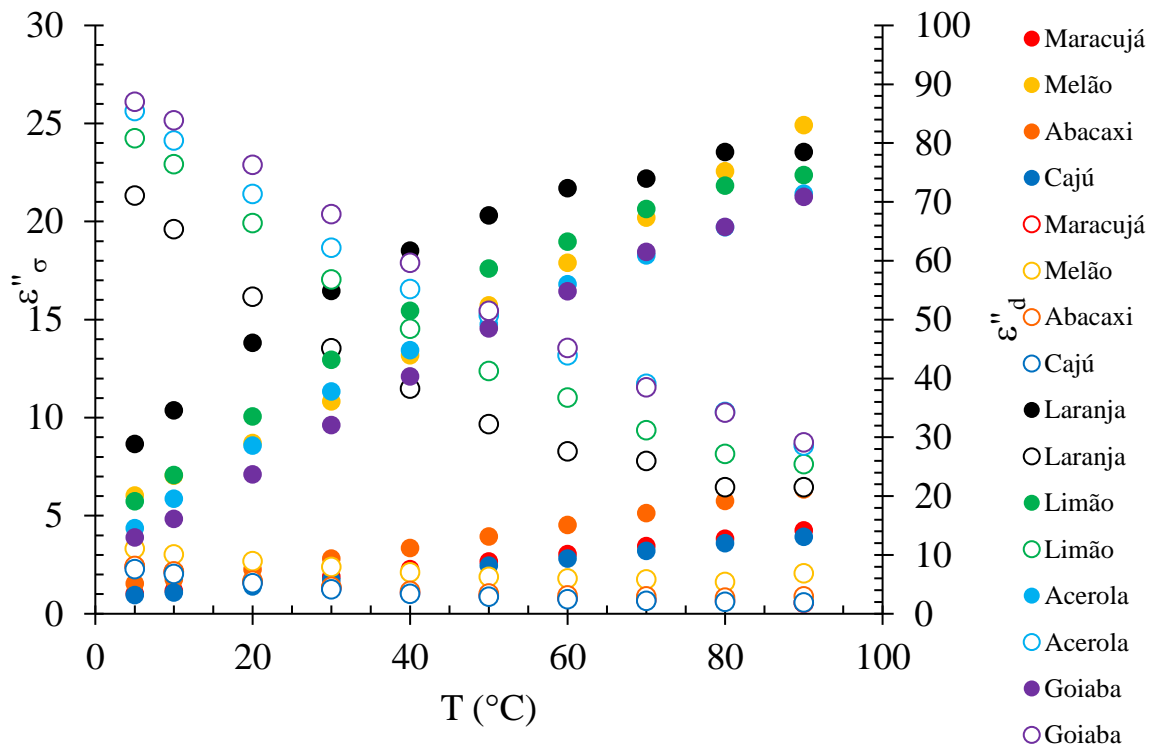


Figura 43: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) no fator de perda dos sucos naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) na frequência de 915 MHz em função da temperatura.

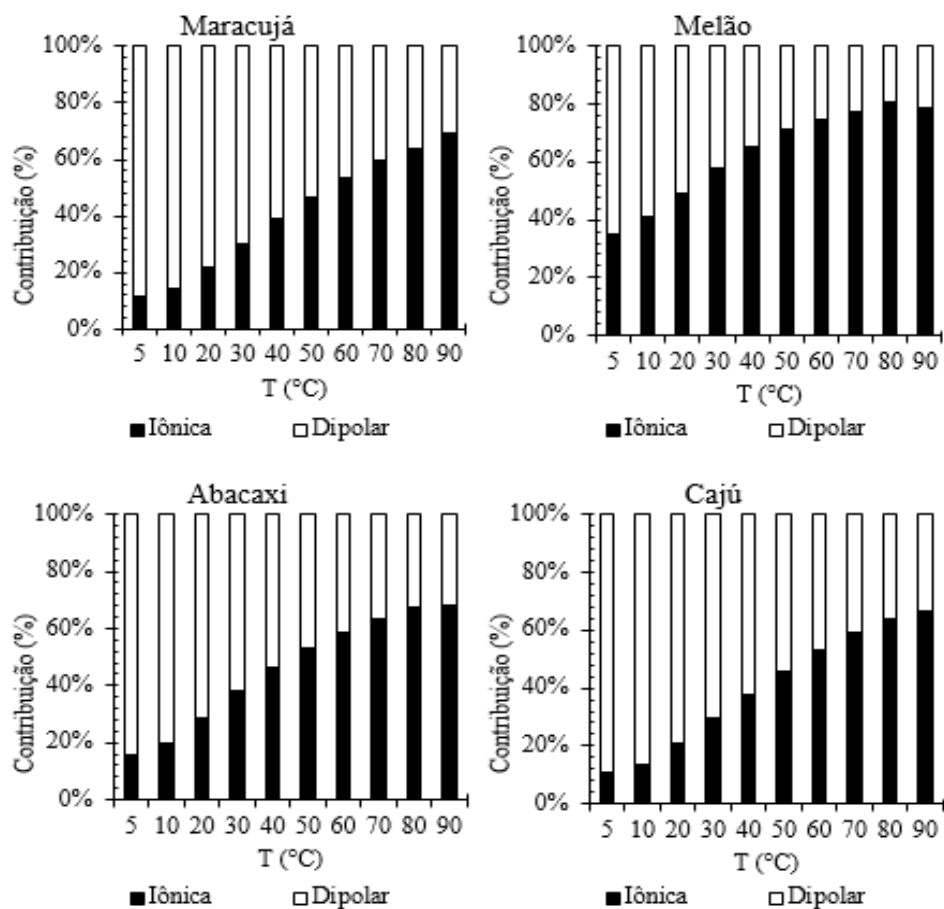
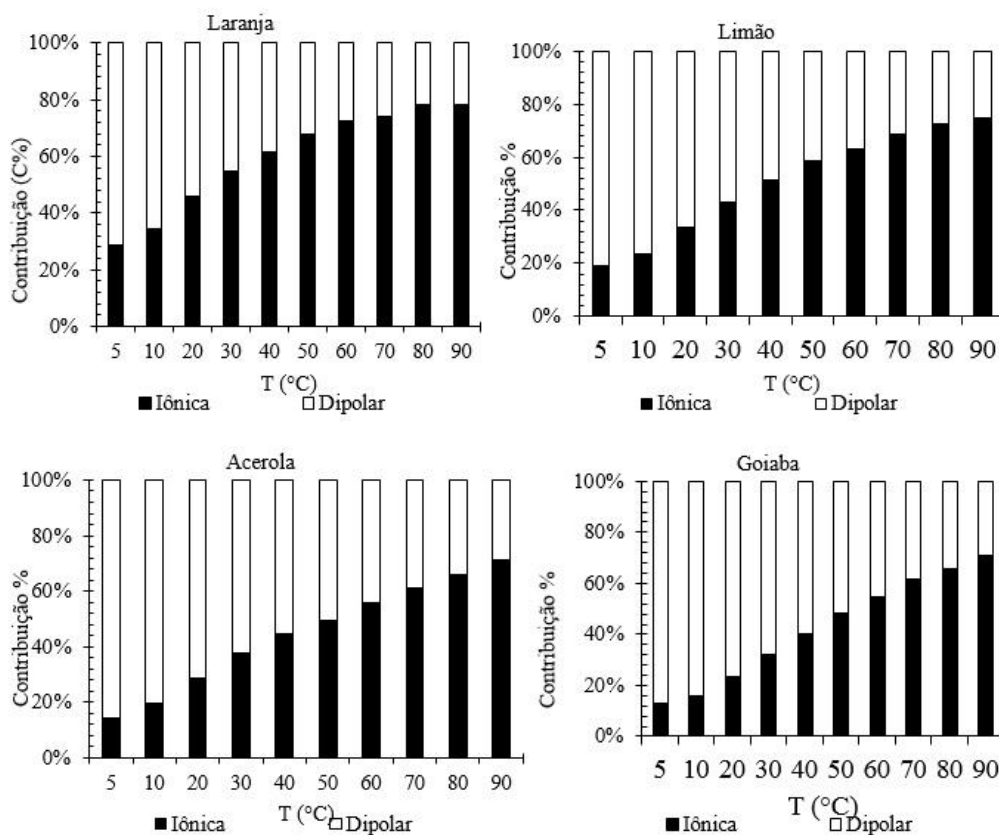


Figura 44: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) no fator de perda dos sucos naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) na frequência de 915 MHz em função da temperatura.



Semelhante ao ocorrido com a permissividade dielétrica de todos os sucos para a varredura de frequência de 500 a 3000 MHz, discutido na seção 3.3.1, para 915 MHz (Figura 39) não houveram diferenças significativas quanto a essa grandeza entre os sucos, sabendo que o conteúdo de água é similar e a permissividade vem da água, sendo que a diferença máxima encontrada foi entre os sucos de melão e abacaxi na temperatura de 5 °C.

O fator de perda do melão majoritariamente subiu com a temperatura, entretanto para os outros sucos, para 915 MHz há pouca variação em ϵ'' , com ligeira queda até 50 °C e ligeiro aumento após essa temperatura. Esta diferença entre o suco de melão e o restante também é nítida quanto à profundidade de penetração, na qual, neste caso o melão possuiu os menores valores e apenas cai com o aumento de temperatura, mas os demais sucos sobem até 50 °C e decaem após essa temperatura.

O valor do fator de perda é resultado do fator de perda iônico e dipolar, de modo que na Figura 42 e Figura 43, observa-se que com o aumento da temperatura, todos os sucos recebem

maior contribuição do fator iônico em relação ao dipolar. As maiores diferenças encontradas, que de fato condiz com a Figura 40 são os maiores valores de ε''_{σ} e de ε''_d do suco melão e maracujá em comparação com o restante de sucos analisados, o que condiz com o fato de na frequência de 915 MHz o mecanismo predominante ser o iônico e o melão apresentar a maior condutividade entre todos os sucos analisados.

3.3.4.2 Para a frequência de 2450 MHz.

As figuras de Figura 45 à Figura 49, apresentam os dados de permissividade dielétrica e fator de perda referentes à frequência comercial de 2450 MHz em função da temperatura.

Figura 45: Permissividade dielétrica dos sucos naturais na frequência de 2450 MHz.

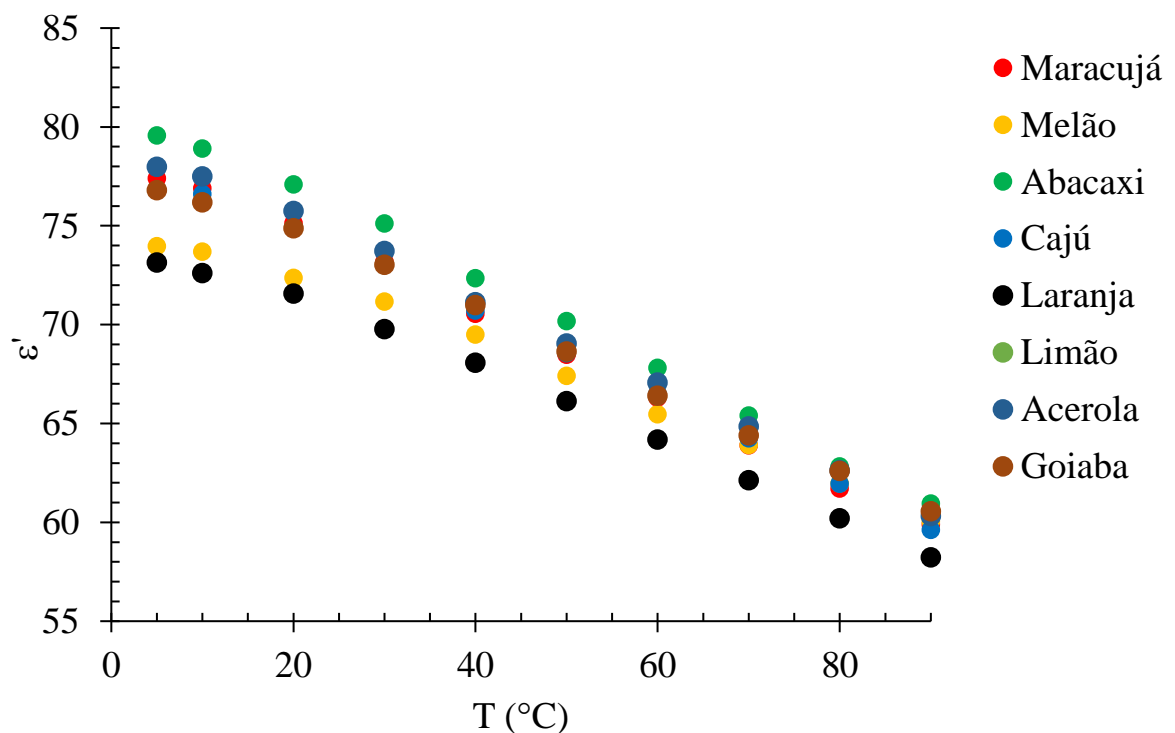


Figura 46: Fator de perda dielétrica dos sucos naturais na frequência de 2450 MHz.

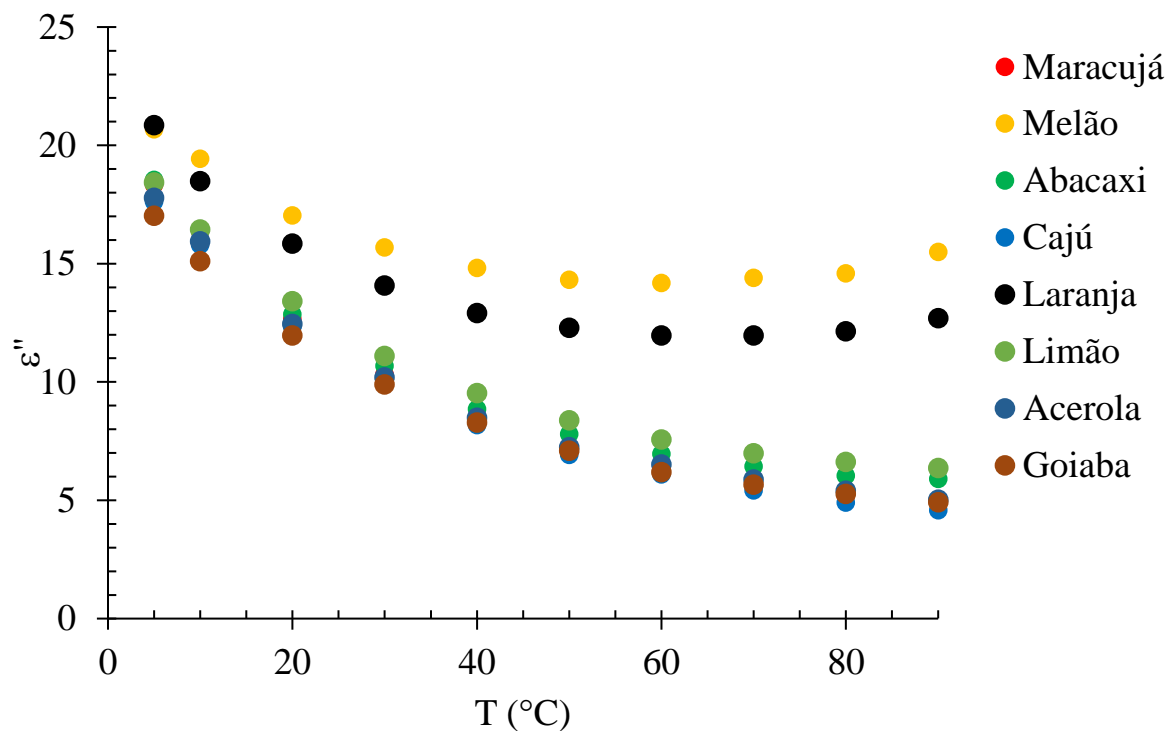


Figura 47: Profundidade de penetração (d_p) nos sucos naturais na frequência de 2450 MHz.

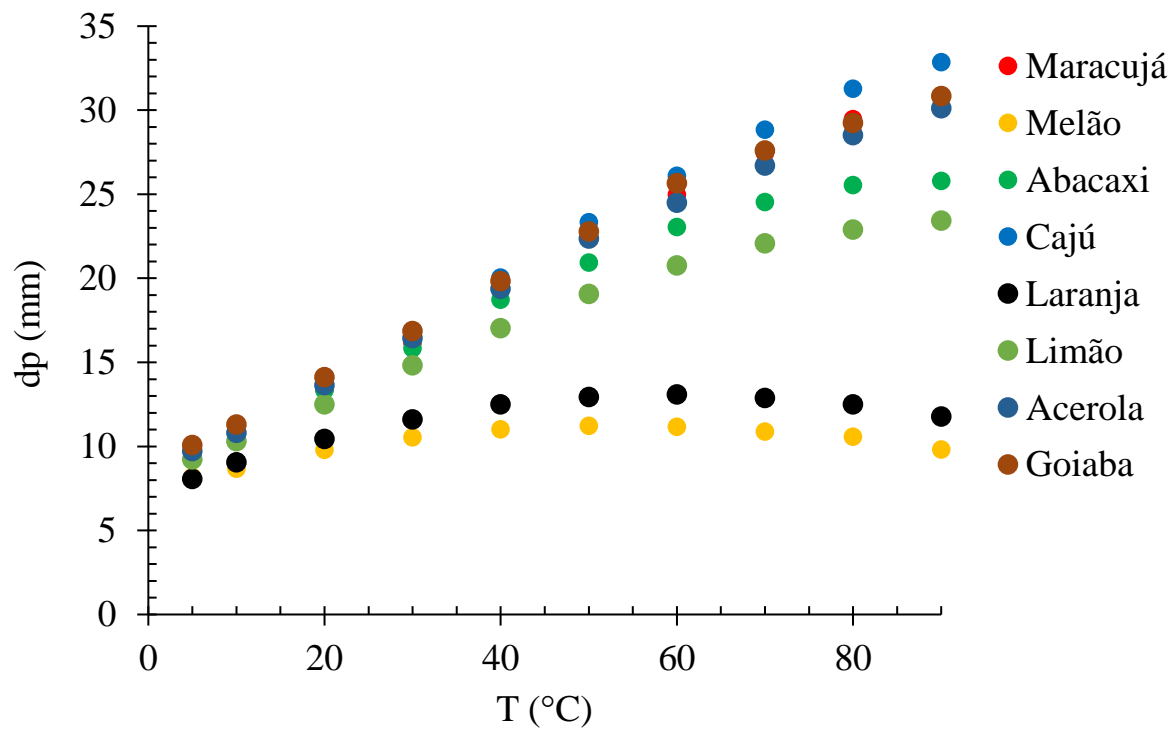


Figura 48: Fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (símbolos vazios) e dipolar (ϵ''_d) (símbolos preenchidos) dos sucos naturais na frequência de 2450 MHz.

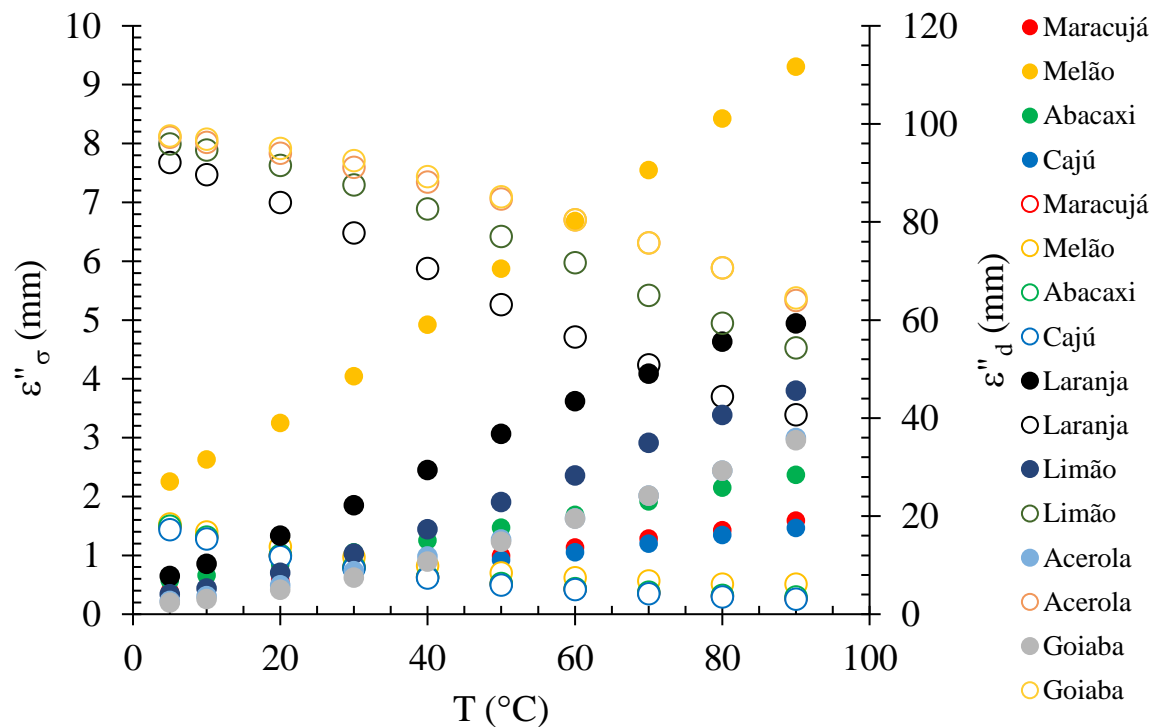


Figura 49: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_{σ}) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) do suco naturais (maracujá, melão, abacaxi, caju) na frequência de 2450 MHz.

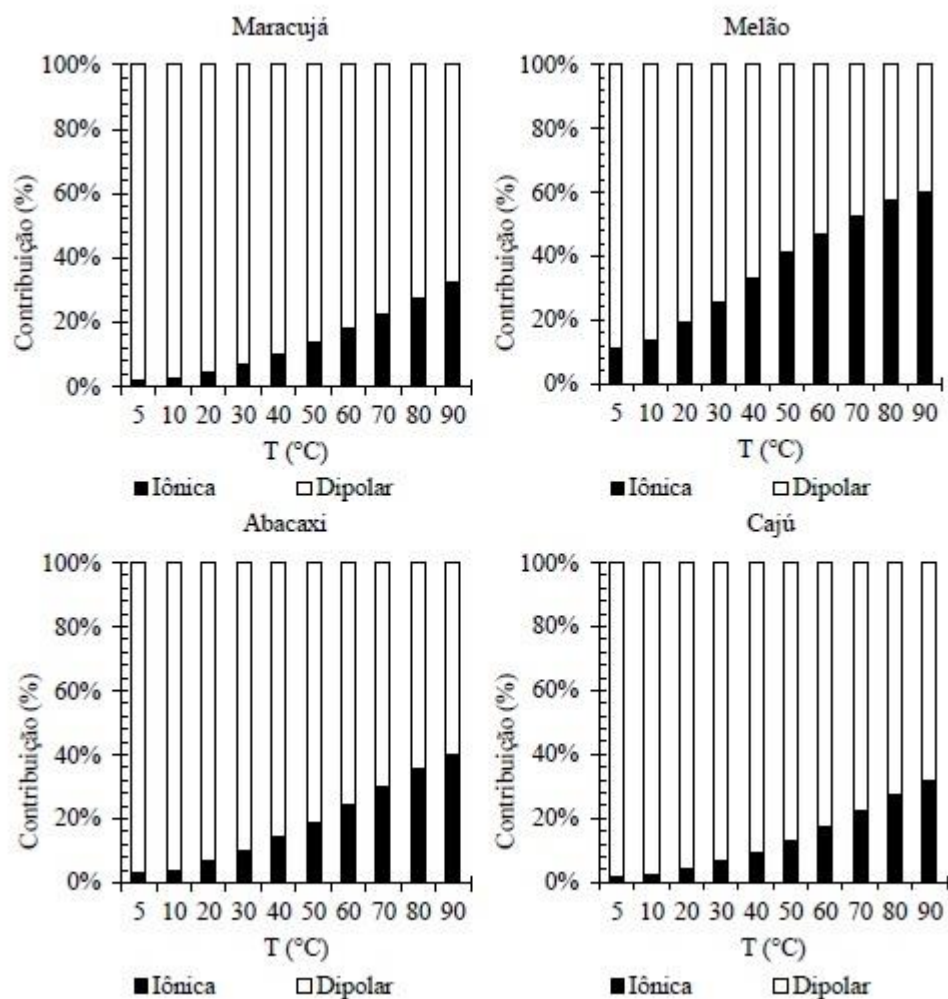
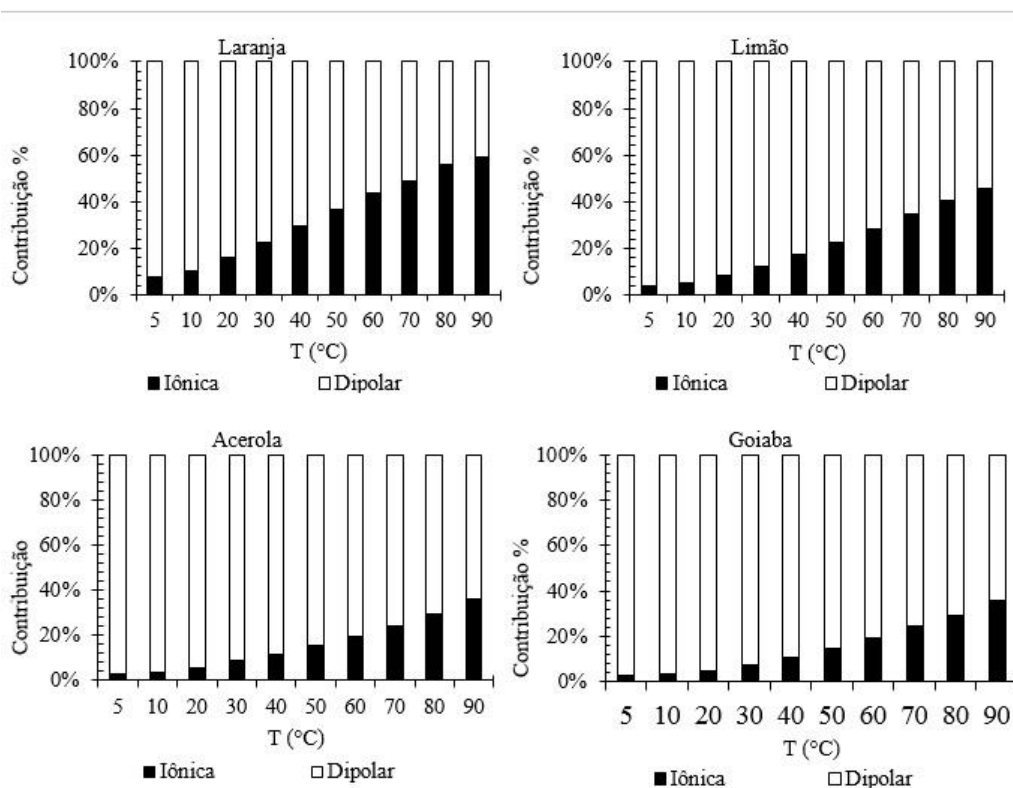


Figura 50: Contribuição (%) dos fatores de perda iônica (ϵ''_o) (colunas hachuradas) e dipolar (ϵ''_d) (colunas vazias) do suco naturais (laranja, limão, acerola, goiaba) na frequência de 2450 MHz.



O comportamento das curvas de permissividade dielétrica para a frequência de 2450 MHz (Figura 45), foram semelhantes a referente à frequência de 915 MHz (Figura 39), de modo que novamente a diferença máxima encontrada foi entre o suco de laranja e abacaxi na temperatura de 5 °C.

Para o fator de perda (Figura 46) entretanto, uma diferença significativa foi encontrada entre o suco de melão e laranja em relação ao restante. Observa-se que o de melão e o de laranja apresentaram as menores quedas do valor de ϵ'' conforme o aumento da temperatura. Ressalta-se aqui novamente a diferença na preparação destes sucos, os quais não foram diluídos e não receberam adição de açúcar (Tabela 1). Entretanto ao comparar-se a Figura 40 (915 MHz) com a Figura 46 (2450 MHz), observa-se que na primeira o fator de perda do melão e da laranja sobem com aumento de temperatura e na segunda majoritariamente decaem com o incremento de temperatura, logo para um processo de pasteurização é favorável em relação a esta grandeza utilizar-se a frequência de 915 MHz, na qual nas maiores temperaturas temos maiores fatores de perda.

Todavia, o comportamento da profundidade de penetração dos sucos de melão e laranja foram as únicas que se destacaram entre as demais, com o menor valor entre todos, assim como na frequência de 915 MHz. Mas a 2450 MHz a diferença consistiu no fato de que o valor da profundidade de penetração majoritariamente subiu para os sucos de abacaxi, caju, maracujá, limão, acerola e goiaba diferente do ocorrido a 915 MHz que o valor sobe e decai para estes sucos. Finalmente deve-se observar que apenas na frequência de 2450 MHz, o valor da profundidade de penetração sobe e decai somente para os sucos de melão e laranja.

A contribuição dos fatores de perda iônica e dipolar (Figura 48 e Figura 49) mostrou comportamento semelhante para todos os sucos, com a diminuição da contribuição do fator dipolar e aumento da influência do fator iônico de acordo com o aumento da temperatura. Novamente os sucos de melão e de laranja, sem diluição e adição de açúcar (*Tabela 1*) foram os que se destacaram quanto a valores, devido ao maior aumento da contribuição do fator iônico em detrimento do dipolar, comparando-se com os outros sucos. Comportamento esperado pela maior concentração de íons, sabendo que os mesmos não receberam adição de água. Ao comparar a Figura 49 (2450 MHz) com a Figura 43 (915 MHz), conclui-se que a 2450 MHz a contribuição do fator de perda dipolar é mais significativa para o valor de ϵ'' em relação à 915 MHz, de acordo com a frequência de relaxação da água, como já observado por (FRANCO, TADINI e GUT, 2013) para água de coco simulada.

3.4 Comportamento Dielétrico nas Frequências Comerciais

Para analisar o comportamento da permissividade relativa dos sucos nas frequências de 915 MHz e 2450 MHz, foram realizadas regressões polinomiais da dependência na temperatura para todos os sucos. Observa-se na Tabela 9 os dados das regressões quadráticas, todas com erros médios menores que 0,6. Para todos os sucos houve decréscimo do valor de ε' com a temperatura, e o valor de R^2 muito próximo de 1. É possível notar também que para a maioria dos sucos o maior erro médio é referente à frequência de 2450 MHz em relação à de 915 MHz. A permissividade dielétrica pode então ser calculada por: $\varepsilon' = a_2T^2 + a_1T + a_0$.

Tabela 9: Parâmetros da regressão polinomial determinadas para a dependência com a temperatura do fator de permissividade dielétrica (ε') dos sucos de frutas (entre 5 e 90°C) para as frequências de 915 e 2450 MHz, junto aos erros médios da estimativa e o coeficiente de determinação

Sucos	f (MHz)	$a_0(-)$	$a_1(^{\circ}C^{-1})$	$a_2(^{\circ}C^{-2})$	$\sigma_{est}(-)$	R^2
Maracujá	915	$(8,42 \pm 0,17) \times 10^1$	$(-3,38 \pm 0,09) \times 10^{-1}$	$(8,30 \pm 8,30) \times 10^{-4}$	0,26	0,9989
	2450	$(7,88 \pm 0,21) \times 10^1$	$(-1,96 \pm 0,11) \times 10^{-1}$	$(-2,04 \pm 1,15) \times 10^{-4}$	0,34	0,9970
Melão	915	$(8,59 \pm 0,13) \times 10^1$	$(-3,30 \pm 0,07) \times 10^{-1}$	$(6,35 \pm 0,72) \times 10^{-4}$	0,21	0,9993
	2450	$(8,09 \pm 0,18) \times 10^1$	$(-2,02 \pm 0,09) \times 10^{-1}$	$(-2,71 \pm 0,98) \times 10^{-4}$	0,29	0,9980
Abacaxi	915	$(8,59 \pm 0,13) \times 10^1$	$(-3,3 \pm 0,07) \times 10^{-1}$	$(6,35 \pm 0,72) \times 10^{-4}$	0,21	0,9993
	2450	$(8,09 \pm 0,18) \times 10^1$	$(-2,02 \pm 0,09) \times 10^{-1}$	$(-2,71 \pm 0,98) \times 10^{-4}$	0,29	0,9980
Caju	915	$(8,31 \pm 0,21) \times 10^1$	$(-2,90 \pm 0,11) \times 10^{-1}$	$(4,01 \pm 1,12) \times 10^{-4}$	0,33	0,9979
	2450	$(7,79 \pm 0,21) \times 10^1$	$(-1,57 \pm 0,11) \times 10^{-1}$	$(-5,45 \pm 1,13) \times 10^{-4}$	0,33	0,9969
Laranja	915	$(8,08 \pm 0,24) \times 10^1$	$(-2,70 \pm 0,12) \times 10^{-1}$	$(3,81 \pm 1,26) \times 10^{-4}$	0,37	0,9969
	2450	$(7,36 \pm 0,32) \times 10^1$	$(-0,78 \pm 0,31) \times 10^{-1}$	$(-18,98 \pm 7,79) \times 10^{-4}$	0,35	0,9961
Limão	915	$(8,18 \pm 0,2) \times 10^1$	$(-2,97 \pm 0,1) \times 10^{-1}$	$(4,94 \pm 1,07) \times 10^{-4}$	0,31	0,9981
	2450	$(7,63 \pm 0,24) \times 10^1$	$(-1,65 \pm 0,13) \times 10^{-1}$	$(-4,08 \pm 1,31) \times 10^{-4}$	0,39	0,9956
Acerola	915	$(8,41 \pm 0,2) \times 10^1$	$(-3,18 \pm 0,1) \times 10^{-1}$	$(6,76 \pm 1,08) \times 10^{-4}$	0,32	0,9983
	2450	$(7,93 \pm 0,21) \times 10^1$	$(-1,89 \pm 0,11) \times 10^{-1}$	$(-2,63 \pm 1,13) \times 10^{-4}$	0,33	0,9973
Goiaba	915	$(8,25 \pm 0,29) \times 10^1$	$(-2,85 \pm 0,15) \times 10^{-1}$	$(5,13 \pm 1,57) \times 10^{-4}$	0,46	0,9959
	2450	$(7,80 \pm 0,34) \times 10^1$	$(-1,70 \pm 0,18) \times 10^{-1}$	$(-3,02 \pm 1,83) \times 10^{-4}$	0,54	0,9920

A regressão polinomial para o fator de perda está apresentada na Tabela 10. Todas regressões foram cúbicas, e os erros médios abaixo de 0,5 para todos os sucos nas frequências de 915 MHz e 2450 MHz, assim como os valores de R^2 foram próximos de 1. O cálculo do fator de perda para todos os sucos pode então ser dado por: $\varepsilon'' = a_3T^3 + a_2T^2 + a_1T + a_0$.

Tabela 10: Parâmetros da regressão polinomial determinadas para a dependência com a temperatura do fator de perda dielétrica (ε') dos sucos de frutas (entre 5 e 90°C) para as frequências de 915 e 2450 MHz, junto aos erros médios da estimativa e o coeficiente de dete

Sucos	f (MHz)	a_0 (—)	$a_1(^{\circ}C^{-1})$	$a_2(^{\circ}C^{-2})$	$a_3(^{\circ}C^{-3})$	σ_{est} (—)	R^2
Maracujá	915	$(1,00 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-2,04 \pm 0,05) \times 10^{-1}$	$(3,05 \pm 0,12) \times 10^{-3}$	$(-14,1 \pm 0,82) \times 10^{-5}$	0,05	0,9982
	2450	$(2,07 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-4,85 \pm 0,11) \times 10^{-1}$	$(5,49 \pm 0,28) \times 10^{-3}$	$(-22,82 \pm 1,95) \times 10^{-5}$	0,13	0,9994
Melão	915	$(1,69 \pm 0,04) \times 10^1$	$(0,20 \pm 0,43) \times 10^{-1}$	$(1,48 \pm 1,06) \times 10^{-3}$	$(1,23 \pm 7,41) \times 10^{-5}$	0,48	0,9919
	2450	$(2,22 \pm 0,02) \times 10^1$	$(-3,16 \pm 0,17) \times 10^{-1}$	$(3,74 \pm 0,44) \times 10^{-3}$	$(-12,74 \pm 3,03) \times 10^{-5}$	0,20	0,9942
Abacaxi	915	$(1,05 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-1,76 \pm 0,07) \times 10^{-1}$	$(2,85 \pm 0,18) \times 10^{-3}$	$(-11,55 \pm 1,28) \times 10^{-5}$	0,08	0,9917
	2450	$(2,08 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-4,79 \pm 0,12) \times 10^{-1}$	$(5,53 \pm 0,31) \times 10^{-3}$	$(-22,97 \pm 2,15) \times 10^{-5}$	0,14	0,9992
Caju	915	$(0,94 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-1,85 \pm 0,06) \times 10^{-1}$	$(2,60 \pm 0,16) \times 10^{-3}$	$(-10,88 \pm 1,09) \times 10^{-5}$	0,07	0,9965
	2450	$(1,98 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-4,53 \pm 0,13) \times 10^{-1}$	$(4,98 \pm 0,33) \times 10^{-3}$	$(-20,36 \pm 2,27) \times 10^{-5}$	0,15	0,9991
Laranja	915	$(1,53 \pm 0,03) \times 10^1$	$(-0,78 \pm 0,26) \times 10^{-1}$	$(2,99 \pm 0,64) \times 10^{-3}$	$(-9,50 \pm 4,49) \times 10^{-5}$	0,29	0,9949
	2450	$(2,26 \pm 0,02) \times 10^1$	$(-4,34 \pm 0,17) \times 10^{-1}$	$(5,65 \pm 0,42) \times 10^{-3}$	$(-23,85 \pm 2,93) \times 10^{-5}$	0,19	0,9969
Limão	915	$(1,12 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-1,61 \pm 0,09) \times 10^{-1}$	$(2,89 \pm 0,23) \times 10^{-3}$	$(-13,37 \pm 1,58) \times 10^{-5}$	0,10	0,9824
	2450	$(2,04 \pm 0,02) \times 10^1$	$(-4,31 \pm 0,16) \times 10^{-1}$	$(4,77 \pm 0,41) \times 10^{-3}$	$(-19,29 \pm 2,84) \times 10^{-5}$	0,19	0,9984
Acerola	915	$(0,97 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-1,85 \pm 0,06) \times 10^{-1}$	$(2,86 \pm 0,16) \times 10^{-3}$	$(-13,00 \pm 1,12) \times 10^{-5}$	0,07	0,9948
	2450	$(2,00 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-4,62 \pm 0,14) \times 10^{-1}$	$(5,31 \pm 0,35) \times 10^{-3}$	$(-22,61 \pm 2,41) \times 10^{-5}$	0,16	0,9989
Goiaba	915	$(0,92 \pm 0,01) \times 10^1$	$(-1,62 \pm 0,08) \times 10^{-1}$	$(2,39 \pm 0,19) \times 10^{-3}$	$(-10,11 \pm 1,34) \times 10^{-5}$	0,09	0,9914
	2450	$(1,9 \pm 0,02) \times 10^1$	$(-4,22 \pm 0,16) \times 10^{-1}$	$(4,67 \pm 0,39) \times 10^{-3}$	$(-19,04 \pm 2,74) \times 10^{-5}$	0,18	0,9984

As últimas correlações obtidas foram em relação a γ' e γ'' , (variáveis explicadas na seção 2.11) para as frequências de 915 MHz e 2450 MHz em função das seguintes propriedades: temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável ($Acidez$), atividade de água (Aw), umidade ($Umidade$), sólidos totais (ST), sólidos solúveis ($Brix$), cinzas ($Cinzas$), cor instrumental (Cor_L, Cor_a, Cor_b) e condutividade (σ_{cond}). Os dados das regressões estão presentes na Tabela 11.

Derivado do fato que há dados disponíveis de pH e acidez, os quais são semelhantes entre si, observa-se que apenas para a regressão referente à γ_{915}'' o pH foi relevante, conclusão

realizada ao analisar-se o Valor-p e a variação ocorrida em R^2 ao adicionar um ou outro. Para a regressão de γ''_{2450} os testes realizados indicaram que nenhum dos dois (pH e acidez) seriam relevantes para a regressão multivariável, por exemplo. Em outras ocasiões observou-se também a irrelevância e, portanto, ausência dos parâmetros de sólidos totais e cinzas.. Quando algum parâmetros foram considerados irrelevantes em algumas regressões (como mencionado, por vezes o pH, sólidos totais, cinzas e etc), observa-se que o espaço referente ao preenchimento deles foi deixado em branco.

A regressão multivariável pode então ser representada por:

$$\gamma' \text{ ou } \gamma'' = a_{12} \sigma_{cond} + a_{11} Cor_b + a_{10} Cor_a + a_9 Cor_L + a_8 (cinzas) + a_7 (Brix) + a_6 ST + a_5 Aw + a_4 (Umidade) + a_3 (Acidez) + a_2 pH + a_1 T + a_0$$

Para validação das regressões, foram analisados para cada parâmetro o valor da significância estatística (Valor-p <0,05) dos fatores gerados, assim como os desvios médios, todo menores que 0,3.

Derivado do fato que há dados disponíveis de pH e acidez, os quais são semelhantes entre si, observa-se que apenas para a regressão referente à γ''_{915} o pH foi relevante, conclusão realizada ao analisar-se o Valor-p e a variação ocorrida em R^2 ao adicionar um ou outro. Para a regressão de γ''_{2450} os testes realizados indicaram que nenhum dos dois (pH e acidez) seriam relevantes para a regressão multivariável, por exemplo. Em outras ocasiões observou-se também a irrelevância e, portanto, ausência dos parâmetros de sólidos totais e cinzas.

Além da tabela com os dados de regressão, pode-se consultar os gráficos de paridade da à.

Tabela 11: Regressão múltipla dos parâmetros determinada para correlação dos fatores de correção (γ' e γ'' a 915 MHz e 2450 MHz) dos sucos, em função da temperatura e das propriedades físico-químicas, junto dos erros médios da estimativa e o coeficiente de determinação

	γ'_{915}	γ'_{2450}	γ''_{915}	γ''_{2450}
$a_0(-)$	$(0,6 \pm 0,1) \times 10^0$	$(-2,01 \pm 0,57) \times 10^0$	$(2,88 \pm 3,88) \times 10^0$	$(-2,05 \pm 1,33) \times 10^0$
$T - a_1(^{\circ}C^{-1})$	$(2,93 \pm 0,3) \times 10^{-4}$	$(1,88 \pm 1,47) \times 10^{-4}$	$(10,65 \pm 13,93) \times 10^{-4}$	$(43,56 \pm 7,16) \times 10^{-4}$
$pH - a_2(-)$	-	-	$(-8,68 \pm 1,03) \times 10^{-1}$	-
Acidez $a_3(g \text{ ácido} \frac{c\acute{it}rico}{100g})^{-1}$	$(2,76 \pm 0,51) \times 10^{-2}$	$(10,81 \pm 2,62) \times 10^{-2}$	$(-371,19 \pm 37,24) \times 10^{-2}$	-

<i>Umidade</i> – a_4 (–)	$(-0,25 \pm 0,05) \times 10^0$	$(-1,23 \pm 0,25) \times 10^0$	$(24,98 \pm 2,48) \times 10^0$	-
<i>Aw</i> – a_5 (–)	$(0,62 \pm 0,11) \times 10^{-2}$	$(4,27 \pm 0,65) \times 10^{-2}$	$(-19,93 \pm 4,23) \times 10^{-2}$	$(316,56 \pm 143,69) \times 10^{-2}$
Sólidos Totais – a_6 (% \cdot m/m $^{-1}$)	$(0,54 \pm 0,13) \times 10^{-3}$	$(6,69 \pm 1,61) \times 10^{-3}$	-	-
<i>Brix</i> – a_7 (<i>Brix</i> $^{-1}$)	$(-0,47 \pm 0,06) \times 10^{-2}$	$(-0,96 \pm 0,28) \times 10^{-2}$	$(25,45 \pm 2,74) \times 10^{-2}$	$(0,53 \pm 0,61) \times 10^{-2}$
<i>Cinzas</i> – a_8 (–)	-	$(-0,84 \pm 0,48) \times 10^{-2}$	$(15,05 \pm 2,93) \times 10^{-2}$	$(-1,06 \pm 1,05) \times 10^{-2}$
<i>Cor_L</i> – a_9 (–)	$(0,26 \pm 0,05) \times 10^{-2}$	$(0,97 \pm 0,21) \times 10^{-2}$	$(-20,16 \pm 2,17) \times 10^{-2}$	$(-0,56 \pm 0,56) \times 10^{-2}$
<i>Cor_a</i> – a_{10} (–)	$(0,49 \pm 0,05) \times 10^{-2}$	$(0,75 \pm 0,3) \times 10^{-2}$	$(-24,09 \pm 2,47) \times 10^{-2}$	$(-0,41 \pm 0,6) \times 10^{-2}$
<i>Cor_b</i> – a_{11} (–)	$(-0,43 \pm 0,06) \times 10^{-2}$	$(-1,4 \pm 0,31) \times 10^{-2}$	$(22,63 \pm 2,63) \times 10^{-2}$	$(1,13 \pm 0,6) \times 10^{-2}$
σ_{cond} – a_{12} (mS $^{-1}$ ·cm)	$(0,19 \pm 0,04) \times 10^{-2}$	$(0,83 \pm 0,23) \times 10^{-2}$	$(15,49 \pm 2,14) \times 10^{-2}$	$(4,6 \pm 0,85) \times 10^{-2}$
σ_{est} (–)	0,00671623	0,0301341	0,288212	0,193419
R^2	0,850932	0,571374	0,831256	0,595491

Figura 51: Gráfico de paridade, para predição da permissividade relativa dos sucos a 915 MHz.

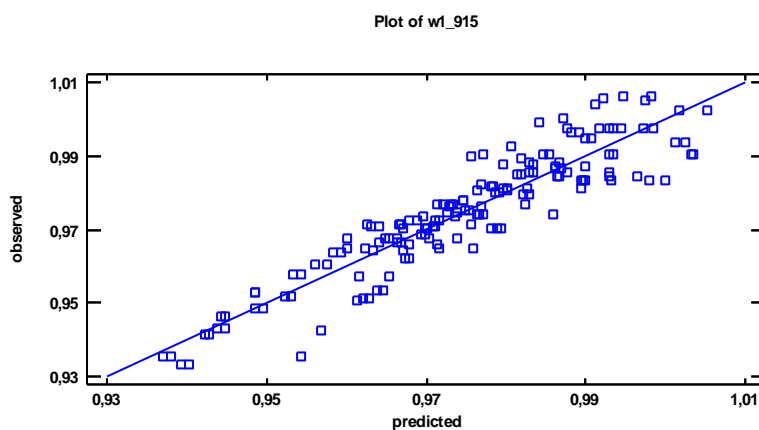


Figura 52: Gráfico de paridade, para predição da permissividade relativa dos sucos a 2450 MHz.

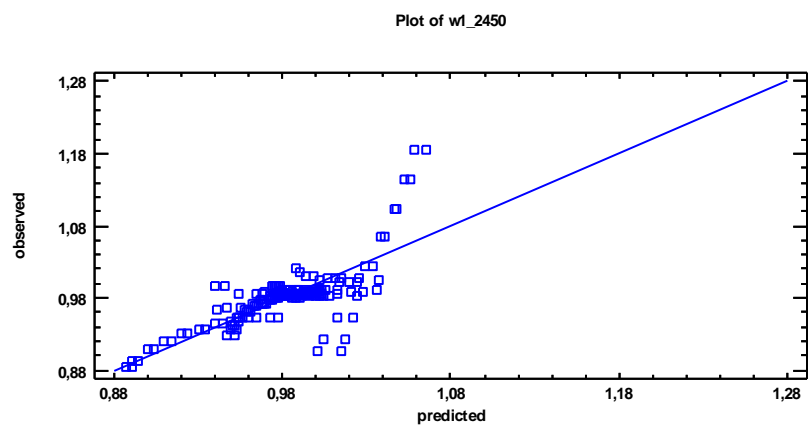


Figura 53: Gráfico de paridade, para predição do fator de perda dielétrica dos sucos a 915 MHz.

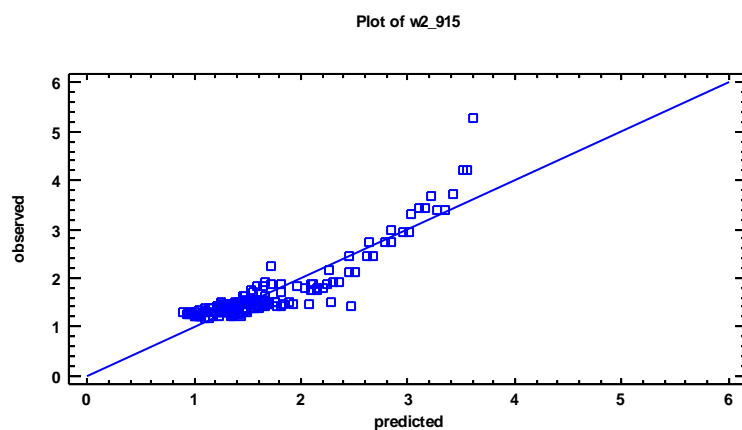
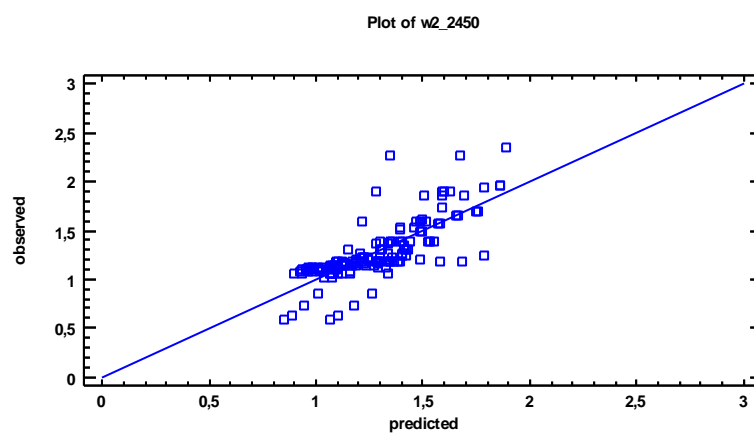


Figura 54: Gráfico de paridade, para predição do fator de perda dielétrica a 2450 MHz.



4 Conclusões

As propriedades dielétricas dos sucos de abacaxi, caju, maracujá, melão, laranja, limão acerola e goiaba foram estudadas entre as temperaturas de 5 °C e 90 °C nas frequências entre 500 e 3000 MHz. Primeiramente foi possível discutir a influência da frequência nos resultados, focando nas frequências comerciais de 915 MHz e 2450 MHz, além de analisar diferentes comportamentos em relação à temperatura. Adiciona-se a isso a obtenção dos dados das características físico-químicas (umidade, cinzas, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, atividade de água e cor instrumental) das amostras para enriquecer ainda mais a análise e validar as comparações e correlações obtidas.

A permissividade dielétrica de todos os sucos apresentou comportamento e valores semelhantes, de acordo com a variação de frequência e temperaturas, resultado esperado porque a água é o componente determinante para o comportamento dielétrico, e está presente em grande quantidade nas amostras. Entretanto para o fator de perda, foi observado diferenças significativas de comportamento nas curvas (decaimento ou aumento), e entre os valores de ϵ'' , ao se comparar as frequências de 915 MHz e 2450 MHz, de modo que os maiores valores do fator de perda corresponderam à frequência de 915 MHz, além de valores mais elevados de profundidade de penetração. Entre os sucos, aqueles que apresentaram maiores discrepâncias quanto aos outros na profundidade de penetração e fator de perda para todas frequências, foram os de melão e de laranja, os únicos a não serem diluídos e não receberem adição de açúcar.

A contribuição do fator de perda iônico e dipolar foi estudada para as frequências de 915 MHz e 2450 MHz, e os dados apontaram maior contribuição do mecanismo iônico para a frequência menor. Adiciona-se a isso que a influência da temperatura também gerou dados suficientes para concluir que conforme o incremento de temperatura, a contribuição do mecanismo iônico também aumenta.

Referente às regressões quadráticas e cúbicas para permissividade relativa e fator de perda, respectivamente, pode-se concluir que todas as equações obtidas foram satisfatórias e representaram muito bem o comportamento destas duas variáveis em função da temperatura. As regressões multivariáveis foram insatisfatórias para γ'_{2450} e γ''_{2450} , portanto para esta

frequência não foi possível obter uma relação entre as propriedades analisadas e o comportamento dielétrico, mas em contrapartida, as regressões foram satisfatórias para γ'_{915} e γ''_{915} , o que contribuiu para verificar o comportamento dielétrico destes sucos em função das propriedades físico-químicas à esta frequência.

5 Bibliografia

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; RAGHAVAN, V.. Dielectric properties of butter in the MW. **Journal of Food Engineering**, Ste Anne de Bellevue, Canada, 01 October 2007. 351–358.

ALMEIDA, C. O. Pineapple Agribusiness in Brazil. **Acta horticulturae**, Cruz das Almas, Bahia, Brasil, Março 2009.

AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. 20^a. ed. [S.l.]: AOAC International, v. II, 2016.

BARBOSA-CANOVAS, G. V.; ZHANG, Q. H. **Pulsed Electric Fields in Food Processing**: Fundamental Aspects and Applications. [S.l.]: CRC Press, 2011. 46-48 p.

BARROS, L. M. Cajucultura, Modernas Técnicas de Produção. In: ARAÚJO, J. P. P.; DA SILVA, V. V. **Botânica, origem e distribuição geográfica**. Fortaleza: [s.n.], 1995. p. 53-68.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; VASCONCELLOS, M. A. S. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições. In: _____ **A cultura do meloeiro**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p. 161-193.

BROWN, G. H.; HOYLER, C. N.; BIERWIRTH, R. A. Theory and application of radio-frequency heating. **D.Van Nostrand company**, New York, 1947.

BUFFLER, R. C. **Microwave Cooking and Processing**: Engineering Fundamentals for the Food Scientist. 2. ed. [S.l.]: Springer, 1993.

CABRAL, J. R. S. Variedades do Abacaxi. **Circular Técnica**, Cruz das Almas, BA, Novembro 2003. ISSN 1516-5612.

CAMARGO, A. M. M. P.; CAMARGO, F. P.; CAMARGO FILHO, W. P. participação no País, concentração regional e evolução no período 1996-2006.. In: _____ **Distribuição Geográfica da Produção de Hortaliças no Estado de São Paulo**. SP: [s.n.], 2008.

CRESTANI, M. et al. Das Américas para o Mundo - origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, Junho 2010. 1473-1483.

CUNHA, R. L. et al. Guava. **Tropical and Subtropical Fruit Processing and Packaging**, Campinas, Novembro 2012.

DEBYE, P. J. W. **Polar Molecules**. New York: The Chemical Catalog Company, 1929.

DHOBALÉ, G. et al. Microwave Heat treatment for Milk Processing. **National Seminar on "Indian Dairy Industry - Opportunities and Challenges"**, 2015. 189. http://dairyknowledge.in/sites/default/files/ch20_0.pdf.

EVERARD, C. D. et al. Dielectric properties of process cheese from 0.3 to 3GHz. **Journal of Food Engineering**, 27 Abril 2006. 415-422.

FAO. **Principles and practices of small-and medium-scale fruit juice processing**. [S.l.]: [s.n.], 2001.

FAO. CODEX GENERAL STANDARD FOR FRUIT JUICES AND NECTARS. In: **FAO Codex Alimentarius**. [S.l.]: [s.n.], 2005. p. 1 of 19.

FRANCO, A. P. et al. Dielectric properties of green coconut water relevant to microwave processing: Effect of temperature and field frequency. **Journal of Food Engineering**, São Paulo, Brasil, 2015. 69-78.

FRANCO, A. P.; TADINI, C. C.; GUT, J. A. W. **Dielectric properties of simulated green coconut water from 500 to 3000 MHz at temperature from 10 to 80°C**. AIChE Annual Meeting 2013. São Paulo-SP, Brasil: [s.n.]. 6 Novembro 2013.

GUO, W. et al. Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. **LWT - Food Science and Technology**, Yangling, Shaanxi, China and Athens, GA, USA, 2011. 224-230.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. IBGE. [S.l.]. 2013.

IDFA - INTERNATIONAL DAIRY FOODS ASSOCIATION. Pasteurization. **Making a difference for dairy**. Disponível em: <<http://www.idfa.org/news-views/media-kits/milk/pasteurization>>. Acesso em: 21 Novembro 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª. ed. São Paulo: [s.n.], 2008.

ITACITRUS AGROINDUSTRIAL E EXPORTADORA S/A. A Origem do Limão Tahiti. **ITACITRUS**, 2010. Disponível em: <<http://itacitrus.com/pt/Tahiti.aspx>>. Acesso em: 30 Maio 2017.

JOSEPH, B.; PRIYA, M. Review on Nutricional, Medicinal and Pharmacological properties of Guava (*Psidium Guava* Linn). **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, Janeiro 2011. 53-69.

LEITE, A. et al. Cashew (*Anacardium occidentale*) featuring in a. **AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY**, Setembro 2016. 1855-1863.

LESTER, G. Melon (*Cucumis melo* L.) Fruit Nutritional - Quality and Health Functionality. **HortTechnology**, Julho 1997.

MATTA, V. et al. Citrus Fruits and Oranges. **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**, Rio de Janeiro, Julho 2010. 265-278.

MELO, B.; ALMEIDA, M. S. Valor Nutricional das Frutas. **Fruticultura**. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/nutricao.htm>>. Acesso em: 22 Novembro 2016.

MERRIAM-WEBSTER. **The Merriam-Webster Dictionary**. [S.l.]: [s.n.], 1981.

MEZADRINI, T. et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition and Analysis**, Santa Catarina, 3 Fevereiro 2008. 282-290.

MINIM, L. A. et al. Thermophysical Properties of Lemon Juice as Affected by Temperature and Water Content. **Journal of Chemical & Engineering Data**, Agosto 2009. 2269-2272.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Cultivos-Maracujá. **EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja>>. Acesso em: 22 Novembro 2016.

NELSON, S. O. Frequency- and Temperature-Dependent Permittivities of Fresh Fruits and Vegetables from 0.01 to 1.8 GHz. **American Society of Agricultural Engineers**, Athens, GA, Novembro 2003. 567-574.

NELSON, S. O.; TRABELSI, S. Factors Influencing the Dielectric Properties of Agricultural and Food Products. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Athens, Georgia, USA, 24 Maio 2012. 93-107.

NETO, F. D. C. V. et al. Origem, Classificação, Botânica e Variedades. **O produtor pergunta, a EMBRAPA responde**, Brasília, DF, n. 2, p. 18-23, 2015. ISSN 978-85-7035-435-8.

NUÑEZ-PALENIUS, H. G. et al. Melon Fruits: Genetic Diversity, Physiology, and Biotechnology Features. **Critical Reviews in Biotechnology**, Fevereiro 2008.

ORSAT, V.; RAGHAVAN, V.; MEDA, V. Microwaves technology for food processing: an overview. **The Microwave Processing of Foods**, Julho 2005. 105-118.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A.-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, 2013. 36-60.

PINTO, M. C. F. **Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido**. Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte - MG. 2007.

PIRES, M. D. M.; SÃO JOSÉ, A. R.; CONCEIÇÃO, A. O. **Maracujá - Avanços tecnológicos e sustentabilidade**. Ilhéus: Edita da UESC, 2011. 22 p. ISBN 978-85-7455-235-4.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Melão Cucumis melo L.: normas de classificação de melão**. CEAGESP/Centro de Qualidade em Hortaliças. São Paulo. 2004.

PULIGUNDLA, P. et al. Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications - a Brief Overview and Update. **Food Processing & Technology**, 4, 2013.

RADIOMETER ANALYTICAL SAS. **Conductivity, Theory and Practice**. Villeurbanne Cedex. 2004.

RAHMAN, M. S.; AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Handbook of Food Preservation, Second Edition. In: AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. **Microwave**

Pasteurization and Sterilization of Foods. 2. ed. [S.l.]: CRC Press, 2007. Cap. 28, p. 692-709.

RAJU, G. G. Dielectric Loss and Relaxation-I. In: RAJU, G. G. **Dielectrics in Electric Fields**. 1^a. ed. [S.l.]: CRC Press, 2003. Cap. 3. ISBN 0824747372.

SAGBADJA, H. A. et al. Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. **Journal of Agricultural and Crop Research**, Março 2015. 27-40.

SEMAT, H.; KATZ, R. Electrical Conduction in. **Robert Katz Publications Research Papers in Physics and Astronomy**, Nebraska - Lincoln, p. 524-538, 1958. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=physicskatz>>.

SERVICES, U. S. D. O. H. A. H. Guidance for Industry: Juice HACCP Hazards and Controls Guidance First Edition; Final Guidance. **U.S Food & Drug Administration**, 2004. Disponível em: <<http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/Juice/ucm072557.htm>>. Acesso em: 11 Novembro 2016.

SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M. Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, 09 Março 2005.

SIM - SISTEMA DE INTELIGÊNCIA DE MERCADO. Agronegócio - Fruticultura. **SEBRAE**, 2015. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf)>. Acesso em: 22 Novembro 2016.

SOSA-MORALES, M. E. et al. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potencial applications. **LWT - Food and Science and Technology**, 2010. 1169-1179.

SUN, E.; DATTA, A.; LOBO, S. Composition-Based Prediction of Dielectric Properties of Foods. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, 22 Setembro 1995.

TANG, J.; FENG, H.; LAU, M. Microwave heating in food processing. **Advances in Agricultural Engineering, Scientific Press**, New York, Maio 2002.

TANG, J.; TSE, V. C. T. C. Microwave and radio frequency in sterilization and pasteurization applications. **Heat Transfer in Food Processing**, Pullman, WA, USA, 2007. 101-157.

THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT / THE WORLD BANK. **Global Agriculture Trade and Developing Countries**. Washington: [s.n.], 2005. 237-257 p. ISBN 0-8213-5863-4.

THE Pineapple. In: _____ **The Pineapple best practice manual**. [S.l.]: [s.n.], 2009. Cap. 1, p. 1-15.

TURRA, C.; GHISI, F. Laranja Orgânica no Brasil: Produção, Mercado e Tendências, São Paulo, 16 Abril 2015.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN RESOURCES, 2016. U.S. Food & Drug Administration. **Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies -- Microwave and Radio Frequency Processing**, 2016. Disponível em: <<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/ucm100250.htm>>. Acesso em: 21 Novembro 2016.

VENKATESH, M. S.; RAGHAVAN, G. S. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. **Biosystems Engineering**, 2004. 88(1)1-18.

ZHU, X.; GUO, W.; WU, X. Frequency- and temperature-dependent dielectric properties of fruit juices associated with pasteurization by dielectric heating. **Journal of Food Engineering**, 2012. 258-266.

ZIBADI, ; WATSON, R.. Passion Fruit (*Passiflora edulis*) - Composition, Efficacy and Safety. **Evid Based Integrative Med**, Tucson, Arizona - USA, 2004. 183-187.