



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DYONATHAN FELIPE KREUZ

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO FENOMENOLÓGICO PARA
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONGELAMENTO DE FISHBURGUER**

LARANJEIRAS DO SUL

2022

DYONATHAN FELIPE KREUZ

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO FENOMENOLÓGICO PARA
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONGELAMENTO DE FISHBURGUER**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da
Universidade Federal da Fronteira Sul, para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos
Santos

LARANJEIRAS DO SUL

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Scheffel, Maria Tereza

Estudo do processo de secagem de bagaço de malte para produção de farinha e utilização na panificação / Maria Tereza Scheffel. -- 2019.

72 f.:il.

Orientador: Professor Doutor Gustavo Henrique Fidelis dos Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Engenharia de Alimentos, Laranjeiras do Sul, PR , 2019.

1. Bagaço de malte. 2. Processo de secagem. 3. Panificação. I. Santos, Gustavo Henrique Fidelis dos, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DYONATHAN FELIPE KREUZ

**APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO FENOMENOLÓGICO PARA
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONGELAMENTO DE FISHBURGUER**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Laranjeiras do Sul-PR.

Orientador: Professor Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos Santos

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 12/04/2022

BANCA EXAMINADORA

Gustavo dos Santos

Prof. Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos Santos

Marcos Alceu Felicetti

Prof. Dr. Marcos Alceu Felicetti

Wanderson Gonçalves Wanzeller

Prof. Dr. Wanderson Gonçalves Wanzeller

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe pela educação que me deu e por todo amor, carinho e apoio, o que foi muito importante para realizar esta conquista.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Henrique Fidelis dos Santos, pela orientação e confiança na realização deste trabalho.

A banca examinadora, Prof. Dr. Marcos Felicetti e Prof. Dr. Wanderson Gonçalves Wanzeller por aceitar o convite e contribuir com esse trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia de Alimentos, pelas contribuições e conhecimento repassados ao longo da graduação.

ESPECIFICAÇÕES DA REVISTA QUE SERÁ ALVO PARA A SUBMISSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi redigido em forma de um artigo de acordo com as normas da revista *Journal of Food Process Engineering*. As normas da revista que foram utilizadas como base para a formatação deste trabalho de conclusão de curso se encontram no ANEXO I.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
MODELAGEM MATEMÁTICA	11
MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
Materiais	12
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
Avaliação das propriedades físicas e termofísicas.....	14
Simulação Matemática.....	21
CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
ANEXO I.....	27

APLICAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO FENOMENOLÓGICO PARA ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONGELAMENTO DE FISHBURGUER

Dyonathan Felipe Kreuz¹

Gustavo Henrique Fidelis dos Santos²

Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, *campus* Laranjeiras do Sul - PR

Resumo. O objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo teórico e avaliar modelos matemáticos, utilizando códigos computacionais em linguagem Maple®16, que simulem o processo de congelamento do fishburger de tilápia. Ensaios foram conduzidos em freezer convencional com função de congelamento rápido (H500, Eletrolux). Pelas curvas de congelamento foram obtidos parâmetros como velocidade de congelamento ($8,33 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$), temperatura do ar de congelamento no interior do freezer ($-30 \text{ }^\circ\text{C}$) e temperatura no centro do fishburger medida por termopares tipo T (Novus). O modelo matemático avaliado foi de parâmetros distribuídos, considerando o fishburger como um sistema físico que troca calor por condução e convecção natural com as vizinhanças, resfriamento uniforme e transferência de calor unidimensional. As propriedades termofísicas foram estimadas a partir de equações empíricas que consideram a composição do produto. O método numérico selecionado para a resolução do modelo matemático foi o método das linhas. A partir da determinação das propriedades termofísicas e a resolução das equações foi possível simular o comportamento da temperatura em função do tempo no processo de congelamento do fishburger de tilápia. A simulação que apresentou maior coeficiente de correlação (0,92) entre a curva experimental e a curva simulada foi obtida utilizando a condutividade térmica em função da temperatura e um coeficiente convectivo de $12,6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Estes resultados mostraram que o modelo matemático proposto se ajustou aos dados experimentais, portanto, o modelo proposto simulou o perfil de congelamento do fishburger de tilápia.

Palavras-chave: Fishburger de Tilápia; Conservação; Congelamento; Modelagem matemática.

Aplicações Práticas. O estudo da modelagem matemática e simulação de processos permite prever o comportamento de resfriamento e congelamento no fishburger de tilápia, sendo portanto uma ferramenta importante que permite a melhor compreensão de diversos cenários do processo por meio da avaliação e análise dos resultados, viabilizando o scale-up do processo, a otimização de recursos, o aumento de produtividade, a minimização de perdas, o aumento de

vida útil dos produtos e a proposição de soluções para melhorias de desempenho do processo e na qualidade do produto, fatores que são fundamentais no desenvolvimento de um processo como o processamento de resfriamento e congelamento do fishburger.

Abstract. The objective of this work was to carry out a theoretical study and to evaluate mathematical models, using computer codes in Maple®16 language that simulate the freezing process of tilapia's fishburger. Experimentals were conducted in a conventional freezer with fast freezing function (H500, Eletrolux). Parameters were obtained from the freezing curves such as freezing speed ($8.33 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$), freezing air temperature inside the freezer ($-30 \text{ }^\circ\text{C}$) and temperature in the center of the fishburger measured by T-type thermocouples (Novus). The mathematical model evaluated was of distributed parameters, considering the fishburger as a physical system that exchanges heat by conduction and natural convection with its surroundings, uniform cooling and one-dimensional heat transfer. The thermophysical properties were estimated from empirical equations that consider the product composition. The numerical method selected for solving the mathematical model was the method of lines. After determining the thermophysical properties and solving the equations, it was possible to simulate the temperature behavior as a function of time in the freezing process of tilapia's fishburger. The simulation that presented the highest correlation coefficient (0.92) between the experimental and the simulated curve was obtained using the thermal conductivity as a function of temperature and a convective coefficient of $12.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. These results showed that the proposed mathematical model fitted the experimental data, therefore, the proposed model simulated the freezing profile of the tilapia's fishburger.

Keywords: Tilapia's Fishburger; Conservation Process; Freezing Process; Mathematical Modeling.

INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Organização da Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), estima-se que no Brasil deve ocorrer um crescimento da produção da pesca e aquicultura de 104% até 2025, tornando o país uma potência na área da pesca e aquicultura (FAO, 2016). O aumento da produção de peixes resulta em grande acúmulo de resíduos industriais proveniente do processamento desses pescados. Neste sentido, o hambúrguer de peixe (fishburger) é um produto desenvolvido através da carne mecanicamente separada (CMS) ou filé, que consiste em agregar valor a esses resíduos e ofertar ao consumidor um novo produto com excelente aporte nutritivo (MUZZOLON et al., 2018).

Uma característica dos alimentos é a tendência a serem mais vulneráveis aos agentes patogênicos ao sofrerem aumento de temperatura. Desta forma, um dos principais fatores utilizados na conservação de alimentos é o emprego de tratamentos térmicos. Minozzo (2011) e Bairy (2014) afirmam que o congelamento é uma das principais operações unitárias utilizadas na conservação do pescado ou de produtos provenientes da carne de peixe.

O congelamento consiste na redução da temperatura do alimento até a formação de cristais de gelo, técnica que proporciona um aumento da vida útil dos produtos cárneos quando conduzido corretamente. Isso ocorre, pois o armazenamento do fishburger em temperaturas negativas reduz o metabolismo dos tecidos animais e ainda retarda a ação da maioria dos microrganismos e enzimas presentes devido a imobilização da água (SOUZA et al., 2013).

Uma curva de congelamento consiste em duas etapas, a refrigeração que é representada pela redução da temperatura do alimento até o início da cristalização da água e dos solutos qual depende da composição do produto, e o congelamento que se inicia na formação dos cristais de gelo e pode alcançar temperaturas entre -10 a -40°C. O congelamento pode ser considerado eficiente quando aproximadamente 80% da água livre encontra-se na forma sólida (LINO, 2014).

Características químicas (pH, sólidos solúveis) e físicas (volume, tamanho, massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica) de um alimento são fatores cruciais durante um processo de congelamento, fatores esses que influenciam na escolha do tempo, temperatura e velocidade de congelamento, que podem ser obtidos através das curvas de congelamento experimentais (VASCONCELOS et al., 2010).

Fennema (2010) destaca a importância do conhecimento dos dados experimentais e das curvas de congelamento, que facilitam o estudo do processo por meio das taxas de transferência de calor/massa e dos coeficientes de troca térmica, quais podem ser ajustados para reduzir as

perdas energéticas, otimizar a produtividade, garantir a qualidade/segurança do alimento e ainda aumentar a eficiência do processo.

Estudos envolvendo transferência de calor por condução e convecção em alimentos sólidos de geometria unidimensional com mudança de estado físico são raramente encontrados na literatura devido à complexidade dos métodos numéricos para a solução desses problemas. Nestas situações torna-se necessária a utilização da modelagem matemática para simular os processos.

Frente ao exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo teórico e avaliar modelos matemáticos, utilizando códigos computacionais em linguagem Maple®16, que simulem o processo de congelamento do fishburguer de tilápia.

MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática é uma ferramenta importante para representar e simular problemas encontrados em sistemas reais através de termos matemáticos abstratos, quais podem ser resolvidos utilizando técnicas numéricas, resultando em uma solução que será interpretada de acordo com o problema real (BERTONE et al., 2014).

A maioria dos fenômenos físicos podem ser descritos através de um sistema de equações diferenciais ordinárias ou parciais com suas apropriadas condições iniciais e de contorno, quais são válidas para um domínio específico. Geralmente a utilização de métodos numéricos são destinados a problemas de transferência de calor e massa, principalmente em processos que constituem mudança de fase em uma determinada temperatura (SILVA, 2005).

Em busca de melhorias no processo e na qualidade do produto, a indústria vem investido na simulação de processos por meio de técnicas computacionais, despertando o crescimento da modelagem matemática nos últimos anos. A partir da simulação utilizando métodos numéricos torna-se possível obter uma prévia do comportamento dos processos, além de resolver problemas com equações e condições de contorno complexas e ainda com produtos de diferentes formas geométricas, obtendo resultados satisfatórios e com uma rapidez considerável (SILVA, 2005).

Amendola e Teruel (2014) desenvolveram um modelo matemático para representar o resfriamento de laranjas em coordenadas esféricas utilizando o método das diferenças finitas. Os resultados obtidos provaram uma proximidade entre a curva experimental e a curva simulada pelo modelo, tornando o método apto para caracterizar o processo de resfriamento das frutas.

Amorim (2016) estudou um modelo de transferência de calor no processo de resfriamento e congelamento de banana utilizando a equação da conservação de energia descrita na forma geométrica esferoidal prolata. A solução numérica foi realizada através do método dos volumes finitos utilizando *software* Mathematica. Os resultados mostraram-se eficaz para a curva de resfriamento da banana podendo prever com exatidão seu comportamento, ao contrário da curva de congelamento que necessita a adequação dos parâmetros de condutividades quais sofrem variações durante o processo de congelamento.

Souza (2018) realizou estudos da cinética de congelamento do músculo de abrótea e de anchova utilizando *softwares* Gambit e Fluent, em que a solução numérica foi desenvolvida utilizando o método dos volumes finitos. Diante dos resultados afirmou-se uma concordância entre o perfil experimental e o perfil numérico para o músculo de abrótea, enquanto para o musculo de anchova apresentou-se uma discrepância entre os perfis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os dados experimentais das curvas de congelamento utilizados neste trabalho foram obtidos por Muzzolon et al., (2017) qual consiste no congelamento do fishburger através de um freezer com convecção natural. As amostras foram testadas individualmente com dois termopares, um a aproximadamente 5 cm da amostra para aferir a temperatura do ar de convecção dentro do freezer e outro introduzido no centro geométrico do fishburger. Os dados coletados foram: velocidade de congelamento, temperatura inicial no centro do fishburger, temperatura do ar de congelamento no interior do freezer e os dados da temperatura no centro do fishburger durante o congelamento.

Para o desenvolvimento da metodologia experimental utilizou-se os equipamentos descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Equipamentos utilizados no processo de congelamento

Equipamentos	Quantidade
Computador com <i>software</i> de linguagem Maple®16	1
Freezer horizontal (H500, Eletrolux, Curitiba -PR, (fast freeze)	1
Termopares tipo T (Novus, Porto Alegre-RS)	2

Métodos

No modelo realizado para representar o congelamento do fishburger considerou-se que a transferência de calor ocorre de forma unidimensional em z, devido a sua pequena espessura.

Diante disso foi inserido a condução de calor por meio da equação que representa a difusão do calor em coordenadas cilíndricas.

Com a finalidade de simplificar a resolução do modelo foram consideradas as seguintes hipóteses:

- I. Fluxo unidimensional ao longo do eixo z
- II. As propriedades termofísicas como densidade, condutividade térmica e calor específico foram estimadas a partir do modelo de Murakami e Okos (1989) e Sing e Heldman (2009) considerando a composição do fishburguer.
- III. A transferência de calor ocorre por condução e convecção natural.
- IV. O método numérico selecionado para a solução deste modelo foi o método das linhas.

O balanço de energia é representado pela equação 1, e a condição inicial e as condições de contorno estão representadas pelas equações (2-4), respectivamente.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} \quad (1)$$

$$T(z, 0) = T_0 \quad (2)$$

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} (z, t) = 0 \quad (3)$$

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L} (z, t) = h [T(z, t) - T(\infty)] \quad (4)$$

Na qual:

k – Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T(z,t) – Temperatura do fishburguer em função do espaço e do tempo ($^\circ\text{C}$);

h - Coeficiente de transferência de calor por convecção natural ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T_∞ - Temperatura ambiente no interior do freezer ($^\circ\text{C}$);

T_0 – Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$);

α – Difusividade térmica ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$).

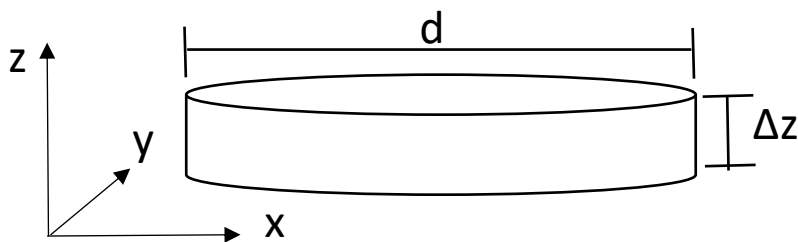
Para a resolução do modelo matemático proposto (Equações 1-4) o método numérico selecionado foi o método das linhas, conhecido como semi-discreto, qual consiste em discretizar as variáveis espaciais e manter uma das variáveis contínuas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliação das propriedades físicas e termofísicas

Muzzolon (2017) dimensionou o fishburguer de tilápia como um disco, conforme representado na figura 1, com valores iguais a $8 \cdot 10^{-3}$ m de espessura (Δz) e 0,1 m de diâmetro (d), assim, sendo possível determinar a área e o volume do produto, obtendo os valores de $7,8 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$ e $6,28 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$ respectivamente.

Figura 1: Dimensionamento do fishburguer de tilápia.



As propriedades termofísicas dos alimentos dependem da composição química e da sua temperatura. Muzzolon et., al (2017) também realizou a composição centesimal do fishburguer de tilápia, obtendo a fração mássica de cada componente conforme mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Composição centesimal do fishburguer de tilápia.

Componentes	Fração do componente (X_i)
Proteína	0,1371
Lipídeo	0,0671
Carboidrato	0,0434
Cinza	0,0192
Água	0,7332

As moléculas que compõem o alimento sofrem interações constantemente variando as propriedades físicas e termofísicas dos alimentos. Um dos principais pontos de variações dessas propriedades quando se trata de alimento refrigerado é a temperatura inicial de congelamento, onde inicia-se a formação dos cristais de gelo ocorrendo maiores interações entre as moléculas do produto.

Em face ao exposto, com o objetivo de determinar a temperatura crítica de congelamento, Pham (1996) adotou uma equação empírica baseada no estudo de diferentes tipos de alimentos, conseguindo determinar a temperatura de início de congelamento baseada na composição do produto de interesse.

$$T_{cc} = -4,66 * \frac{X_0}{X_{wtot}} - 46,4 * \frac{X_m}{X_{wtot}} \quad (5)$$

Em que:

X_m – fração mássica de minerais

X_{wtot} – fração mássica de água total

X_0 – fração mássica de outros componentes

Conforme a equação 5 e com os dados da composição centesimal apresentados na tabela 2, o valor obtido da temperatura de início do congelamento do fishburguer de tilápia foi de – 2,78 °C.

A densidade (ρ), o calor específico (C_p) e a condutividade térmica (k) do fishburguer de tilápia foram definidos através das frações dos componentes e de equações desenvolvidas por Sing e Heldman (2009), que relacionam o comportamento desses componentes em função da variação da temperatura. Com a finalidade de simplificar o modelo matemático e o esforço computacional na simulação, inicialmente foi proposto estimar estas propriedades termofísicas na temperatura crítica de congelamento (Modelo 1), por se tratar da modelagem e simulação do congelamento do fishburguer.

A densidade (ρ) foi estabelecida através da seguinte equação:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i * X_i \quad (6)$$

Em que:

ρ_i - densidade do componente i-ésimo (kg m^{-3})

X_i - fração do componente i-ésimo

n - número de componentes.

As equações da densidade em função da temperatura de congelamento com a composição centesimal do fishburguer descritas por Sing e Heldman (2009) estão representadas pela tabela 3.

Tabela 3. Densidade dos componentes do fishburguer de tilápia.

Componentes	Equação de ρ_i
Proteína	$1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} T$
Lipídeo	$9,2559 \cdot 10^2 - 4,1747 \cdot 10^{-1} T$
Carboidrato	$1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} T$
Cinza	$2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T$
Água	$9,1689 \cdot 10^2 - 1,3071 \cdot 10^{-1} T$

O valor da densidade (ρ) encontrada para o fishburguer está apresentado na tabela 6.

O calor específico (C_p) foi estabelecido através da seguinte equação:

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_{pi} * X_i \quad (7)$$

Em que:

C_{pi} - calor específico do componente i-ésimo ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

X_i - fração do componente i-ésimo

n - número de componentes.

As equações do calor específico em função da temperatura de congelamento com a composição centesimal do fishburguer descritas por Sing e Heldman (2009) estão representadas pela tabela 4.

Tabela 4. Calor específico dos componentes do fishburguer de tilápia.

Componentes	Equação de C_{pi}
Proteína	$2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} T - 1,3129 \cdot 10^{-6} T^2$
Lipídeo	$1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} T - 4,8008 \cdot 10^{-6} T^2$
Carboidrato	$1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} T - 5,9399 \cdot 10^{-6} T^2$
Cinza	$1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} T - 3,6817 \cdot 10^{-6} T^2$
Água	$4,0817 - 5,3062 \cdot 10^{-3} T + 9,9516 \cdot 10^{-4} T^2$

O valor do calor específico (C_p) encontrado para o fishburguer está apresentado na tabela 6.

A condutividade térmica (k) foi calculada por meio dos modelos série e paralelo de Murakami e Okos (1989), que compararam a condutividade térmica de produtos alimentícios com um circuito elétrico, levando em conta que o produto é composto por diferentes resistências ligadas em série ou em paralelo, qual tem um valor nominal em função da temperatura que é relacionado com a composição do produto. O mesmo método foi realizado por Neckel e Mariani (2010) na realização da modelagem do congelamento da beterraba, os quais concluíram que as propriedades termofísicas dos alimentos baseada na sua composição e utilizando equações empíricas se mostraram satisfatórias.

O modelo paralelo da condutividade térmica é representado através da soma das condutividades térmicas de cada componente, multiplicada por suas respectivas frações:

$$k = \sum_{i=1}^n X_i k_i \quad (8)$$

Já o modelo série é representado pelo inverso da soma das frações dos componentes dividido por suas respectivas condutividades térmicas:

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{k_i}\right)} \quad (9)$$

Em que:

k_i - condutividade térmica do componente i -ésimo ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

X_i - fração do componente i -ésimo

n - número de componentes.

ASHRAE (2002) recomenda o cálculo da condutividade térmica pelo método paralelo e série, porém relata que o método em série superestima a condutividade e o método em paralelo subestima. Portanto neste trabalho foi realizado os cálculos pelos dois métodos e ao final foi aplicado uma média aritmética simples para determinar a condutividade térmica final.

As equações da condutividade térmica em função da temperatura de congelamento com a composição centesimal do fishburger descritas por Sing e Heldman (2009) estão representadas pela tabela 5.

Tabela 5. Condutividade térmica dos componentes do fishburguer de tilápia.

Componentes	Equação de k_i
Proteína	$1,7881 \cdot 10^{-1} + 1,1958 \cdot 10^{-3} T - 2,7178 \cdot 10^{-6} T^2$
Lipídeo	$1,8071 \cdot 10^{-1} - 2,7604 \cdot 10^{-3} T - 1,7749 \cdot 10^{-7} T^2$
Carboidrato	$2,0141 \cdot 10^{-1} + 1,3874 \cdot 10^{-3} T - 4,3312 \cdot 10^{-6} T^2$
Cinza	$3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,4011 \cdot 10^{-3} T - 2,9069 \cdot 10^{-6} T^2$
Água	$5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2$
Gelo	$2,2196 - 6,2489 \cdot 10^{-3} T + 1,0154 \cdot 10^{-4} T^2$

O valor da condutividade térmica (k) média encontrada para o fishburguer está apresentado na tabela 6.

A partir da condutividade térmica final foi possível calcular a difusividade térmica pela seguinte equação:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \quad (10)$$

O valor da difusividade térmica (α) (Modelo1) calculado a partir da densidade, calor específico e condutividade térmica por meio da temperatura de congelamento está apresentado na tabela 6.

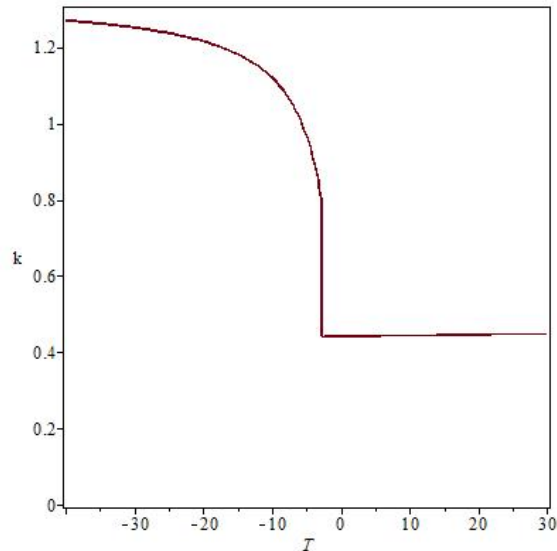
Sartori et., al (2006) observou uma variação abrupta no comportamento da condutividade térmica durante a simulação de congelamento do purê de cenoura. A mesma observação foi realizada por SILVA (2002) durante a realização da cinética de resfriamento e congelamento de frutos de cajá, relatando que os valores de condutividade térmica sofrem variações de acordo com a oscilação de temperatura.

Em face ao exposto uma segunda proposta para a modelagem e simulação deste processo, foi de trabalhar com a condutividade térmica em função da temperatura (Modelo 2). Para a previsão dos coeficientes de condutividade térmica em função da temperatura, foi desenvolvido o cálculo da condutividade térmica final (média aritmética do método série e paralelo) nas temperaturas entre 30°C e -30°C em intervalos de 5°C. Os resultados gerados proporcionaram estabelecer a relação entre a condutividade térmica e a temperatura, a qual é expressa na equação abaixo.

$$k(T) = \begin{cases} \frac{1}{0,75228 - \frac{1,39924}{T}}; & -30^{\circ}C \leq T < -2,78^{\circ}C \\ 0,4406 + 0,00024561 * T; & -2,78^{\circ}C < T \leq 30^{\circ}C \end{cases} \quad (11)$$

A partir da equação acima é possível observar o comportamento da condutividade térmica em função da temperatura, representada na Figura 1.

Figura 1. Comportamento da condutividade térmica (k).



Percebe-se que a condutividade térmica do fishburguer de tilápia durante o processo de congelamento variou de 0,4455 a 1,3007 $\text{W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Neckel e Mariani (2010) obtiveram variações da condutividade no intervalo de 0,4 a 1,6 $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Na avaliação da condutividade térmica em função da temperatura, observa-se que a condutividade apresentou um comportamento linear entre as temperaturas de 30 a $-2,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$, que representa a fase de resfriamento. Enquanto entre as temperaturas de $-2,78$ a $-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (fase de congelamento), a condutividade apresentou um comportamento não linear, possivelmente por conta da formação de cristais de gelo no alimento.

A partir da avaliação da condutividade térmica em função da temperatura, observa-se também que a temperatura de transição entre a fase de resfriamento e a fase de congelamento foi de $-2,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Este foi o mesmo valor estimado pela equação empírica proposta por Pham (1996) (Equação 5), o que indica que o início da formação de cristais no fishburguer de tilápia se deu na temperatura de $-2,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

A partir desta proposta a difusividade térmica foi obtida também em função da temperatura, visto que na equação 10 tem-se a dependência da condutividade térmica.

Realizando a substituição dos termos e as devidas simplificações, a equação encontrada para a difusividade térmica em função da temperatura é mostrada abaixo.

$$\alpha (T) = \begin{cases} 1,122 \cdot 10^{-7} + 6,254 \cdot 10^{-11} * T; & -2,78^{\circ}C < T \leq 30^{\circ}C \\ \frac{2,546 \cdot 10^{-7}}{0,75228 - \frac{1,39924}{T}}; & -30^{\circ}C \leq T < -2,78^{\circ}C \end{cases} \quad (12)$$

A determinação do coeficiente convectivo (h) se deu por meio de pesquisas, pois a fabricante do freezer utilizado no experimento não disponibiliza esse dado. Então, segundo Neto (2010) os valores de coeficientes de convecção natural do ar variam de 5 a 30 W m⁻² °C⁻¹ para velocidades do ar de congelamento inferior a 1 m s⁻¹ utilizados em freezer convencionais de congelamento rápido. Muzzolon (2017) afirmou que no experimento realizado a velocidade do ar de congelamento utilizada foi de 8,33 10⁻⁷ m s⁻¹. No experimento de resfriamento de frutas esféricas realizados por Amendola e Teruel (2004) variou-se os valores do coeficiente de convecção de 10 a 20 W m⁻² °C⁻¹, visando obter uma maior igualdade entre as curvas numéricas e experimentais. O mesmo foi observado nos estudos de Pirozzi e Amendola (2005) com a simulação do resfriamento de morangos, onde o coeficiente convectivo que mais se ajustou foi 16 W m⁻² °C⁻¹. Desta forma, simulações numéricas foram realizadas com diferentes valores do coeficiente convectivo na faixa de 15 a 25 W m⁻² °C⁻¹, observando o coeficiente de correlação (R²) entre a curva de resfriamento simulada e a experimental, sendo que o valor de 12,6 W m⁻² °C⁻¹ resultou no melhor ajuste (R² = 0,95).

Os dados aplicados no Modelo 1 e 2, dados calculados e dados experimentais, estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Dados calculados e experimentais.

Dados experimentais	Dados calculados	Modelo 1	Modelo 2
$T_0 = 11,28 \text{ } ^\circ\text{C}$	$A = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$k = 0,4455 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$k(T) = 0,4406 + 0,00024561 \cdot T$ $-2,78^\circ\text{C} < T \leq 30^\circ\text{C}$
$\Delta z = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	$V = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$		$k(T) = \frac{1}{0,75228 - \frac{1,39924}{T}}$ $-30^\circ\text{C} \leq T < -2,78^\circ\text{C}$
$d = 0,1 \text{ m}$	$T_{cc} = -2,78 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\alpha = 1,134 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	$\alpha(T) = 1,122 \cdot 10^{-7} + 6,254 \cdot 10^{-11} \cdot T$ $-2,78^\circ\text{C} < T \leq 30^\circ\text{C}$
$T_\infty = -30^\circ\text{C}$	$\rho = 1036,5 \text{ kg m}^{-3}$		$\alpha(T) = \frac{2,546 \cdot 10^{-7}}{0,75228 - \frac{1,39924}{T}}$ $-30^\circ\text{C} \leq T < -2,78^\circ\text{C}$
	$C_p = 3,789 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		
	$h = 12,6 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		

Com os dados pré-estabelecidos foi possível realizar a modelagem e simulação do processo de congelamento do fishburger de tilápia.

Simulação Matemática

A resolução do modelo 1 que representa a simulação da curva de congelamento do fishburger foi realizada através do método das linhas, onde a variável espacial das equações 1-4 que representam o modelo foram discretizadas utilizando o método das diferenças finitas, de acordo com o descrito abaixo:

$$\frac{d^2T}{dz^2} = \frac{T_{i+1}(t) - 2T_i(t) + T_{i-1}(t)}{\Delta z^2} \quad (13)$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{T_{i+1}(t) - T_i(t)}{\Delta z} \quad (14)$$

$$T(z, t) = T_i(t) \quad (15)$$

Realizando a substituição das equações 13-15 nas equações 1-4 encontramos a equação do modelo, as condições iniciais e condições de contorno discretizadas para o Modelo 1, quais são representadas pelas equações 16-19.

$$\frac{T_{i+1}(t) - 2T_i(t) + T_{i-1}(t)}{\Delta z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT_i(t)}{dt} \quad (16)$$

$$T_i(0) = T_0 \quad (17)$$

$$-k \frac{T_{i+1}(t) - T_i(t)}{\Delta z} \Big|_{z=0} = 0 \quad (18)$$

$$-k \frac{T_{i+1}(t) - T_{i-1}(t)}{\Delta z} \Big|_{i=n} = h[T_i(t) - T^\infty] \quad (19)$$

Para o Modelo 2, por conta da condutividade térmica (k) e da difusividade térmica (α) serem funções da temperatura, também foi necessário discretizá-las ao aplicá-las nas equações. Além disso, no Modelo 2 foi necessário dividir as equações que simularam a curva de resfriamento e que simularam a curva de congelamento. Assim, a equação do modelo, as condições iniciais e condições de contorno discretizadas para o Modelo 2, quais são representadas pelas equações 20-26.

Curva de resfriamento:

$$\frac{T_{i+1}(t) - 2T_i(t) + T_{i-1}(t)}{\Delta z^2} = \frac{1}{1,122 \cdot 10^{-7} + 6,254 \cdot 10^{-11} \cdot T_i(t)} \frac{dT_i(t)}{dt} \quad (20)$$

$$-(0,4406 + 0,00024561 \cdot T_i(t)) \frac{T_{i+1}(t) - T_{i-1}(t)}{\Delta z} \Big|_{z=0} = 0 \quad (21)$$

$$-(0,4406 + 0,00024561 \cdot T_i(t)) \frac{T_{i+1}(t) - T_i(t)}{\Delta z} \Big|_{i=n} = h[T_i(t) - T^\infty] \quad (22)$$

Curva de congelamento:

$$(23)$$

$$\frac{T_{i+1}(t) - 2T_i(t) + T_{i-1}(t)}{\Delta z^2} = \frac{1}{2,546 \cdot 10^{-7}} \frac{dT_i(t)}{dt}$$

$$0,75228 - \frac{1,39924}{T_i(t)}$$

$$T_i(n) = T_f \quad (24)$$

$$-\left(\frac{1}{0,75228 - \frac{1,39924}{T_i(t)}} \right) \frac{T_i(t) - T_{i-1}(t)}{\Delta z} \Bigg|_{z=0} = 0 \quad (25)$$

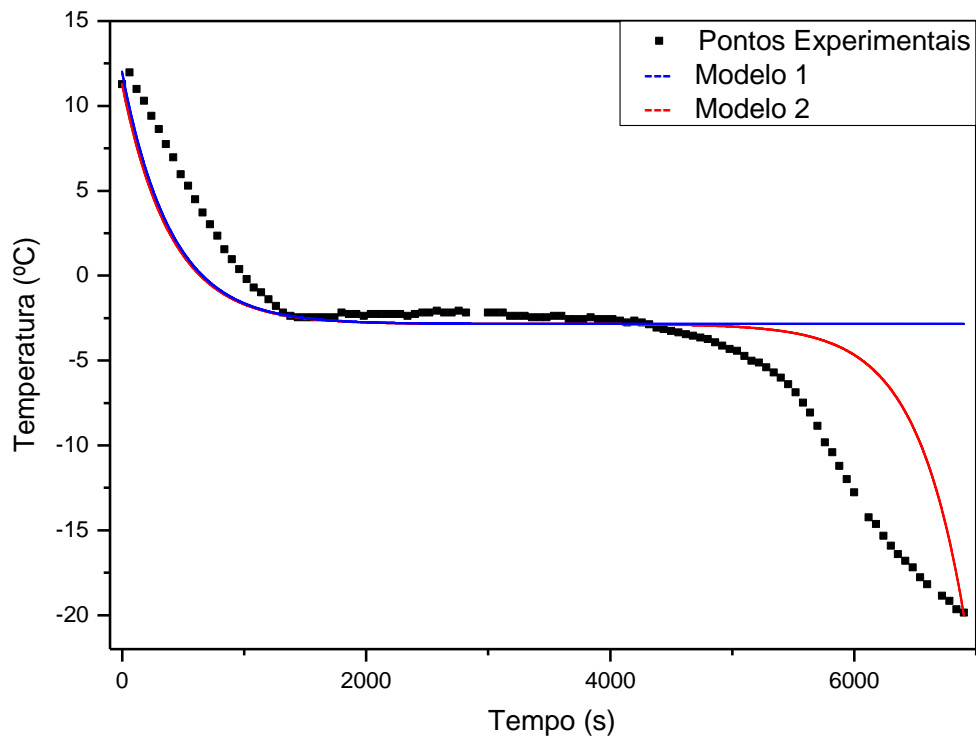
$$-\left(\frac{1}{0,75228 - \frac{1,39924}{T_i(t)}} \right) \frac{T_{i+1}(t) - T_i(t)}{\Delta z} \Bigg|_{i=n} = h[T_i(t) - T_\infty] \quad (26)$$

Na discretização das equações da curva de congelamento, como condição de início foi utilizado a temperatura final do processo ($T_f = -20 \text{ °C}$). Além disso, na discretização da primeira condição de contorno foi utilizada o método das diferenças finitas atrasado.

Para a solução dos Modelos 1 e 2, através de um código computacional desenvolvido em linguagem Maple®16, obteve-se um conjunto de equações diferenciais ordinárias (EDOs) representando a equação diferencial parcial (EDP) apenas com variável temporal, podendo então ser encontrado a variação da temperatura em pequenos intervalos de tempo.

Aplicando a simulação matemática, levando em consideração as propriedades termofísicas constantes no Modelo 1 e no Modelo 2 inserindo a equação da condutividade térmica (k) em função da temperatura, os seguintes perfis de resfriamento/congelamento entre as curvas simuladas e a curva experimental foram obtidos e estão representados pela Figura 2.

Figura 2. Perfil de congelamento do fishburguer de tilápia.



Pelo gráfico 2, observa-se que o comportamento da curva simulada pelo Modelo 1 apresentou uma representação satisfatória somente no processo de resfriamento do fishburguer até a fase de formação dos cristais de gelo. O perfil da temperatura a partir da etapa de congelamento não foi representado pelo modelo proposto, que resultou em R^2 de 0,64, ou seja, as equações propostas para o Modelo 1 foram insuficientes para representar todo o processo, resfriamento e congelamento.

Na simulação obtida pelo Modelo 2, é possível observar que a curva simulada tende a representar tanto o perfil de resfriamento como o perfil de congelamento do fishburguer de tilápia. Este resultado mostra que a inserção da influência da temperatura nas propriedades termofísicas, como a condutividade térmica, melhorou a representação entre a curva simulada e a curva experimental, que resultou em um R^2 de 0,92. Isto se deve a melhor compreensão do processo de formação dos cristais de água por meio da análise da condutividade térmica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação matemática do processo de congelamento do fishburguer de tilápia utilizando propriedades termofísicas baseadas na composição do produto e utilizando equações empíricas encontradas na literatura mostrou-se satisfatória quando implementado o comportamento dessas propriedades em função da temperatura. A linguagem computacional

desenvolvida para o congelamento do fishburguer mostrou-se complexa necessitando de um esforço maior quando introduzido a condutividade térmica (k) em função da temperatura, porém o método numérico escolhido para a resolução do problema atendeu as expectativas.

A simulação do processo de congelamento do fishburguer de tilápia foi satisfatória reproduzindo os dados obtidos experimentalmente. Acredita-se que para o desenvolvimento de trabalhos futuros a utilização das propriedades termofísicas como densidade e calor específico em função da temperatura e levando em consideração a formação de cristais de água poderá contribuir para uma melhor correlação entre a curva experimental e a curva simulada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMENDOLA, M.; TERUEL B. (2005). Uso de um esquema implícito e de splines para a simulação numérica do processo de resfriamento de frutas esféricas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.1, p.78-82, Campinas – SP.

AMORIM, H. C. (2016). *Modelagem e Simulação da Transferência de Calor em Alimentos com Forma Esferoidal Prolata. Estudo de Caso: Resfriamento e Congelamento de Banana*. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

ASHRAE, (2002). *ASHRAE Handbook: Refrigeration*. ASHRAE: Atlanta.

BAINY, E. M.; CORAZZA, M. L.; LENZI, M. K. (2015). Measurement of freezing point of tilapia fish burger using differential scanning calorimetry (DSC) and cooling curve method. *Journal of Food Engineering*, v. 161, p. 82-86.

BERTONE, Ana Maria Amarillo; BASSANEZI, Rodney Carlos; JAFALICE, Rosana Sueli da Motta. (2014). *Modelagem Matemática*. Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia - MG, p. 187.

CHOI, Y.; OKOS, M.R. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LeMaguer M., Jelen P. (Eds.). *Food Engineering and Process Applications*. Elsevier Applied Science Publishers: London, 1:93-101.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. (2010). *Química de Alimentos de Fennema* – 4ª ed. – Editora Artmed.

- LINO, G. C. L.; LINO, T. H. L. (2014). Congelamento e Refrigeração. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina.
- MINOZZO, M. G. (2011). Processamento e Conservação do Pescado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná – IFPR, Rede e-Tech Brasil, Curitiba – PR.
- MURAKAMI, E. G.; OKOS, M. R. (1989). Measurement and prediction of thermal properties of foods. In: Singh R.P., Medina A.G. (Eds.). Food Properties and Computer Aided Engineering of Food Processing Systems. Academic Publishers: New York, 3-48.
- MUZZOLON, E.; BIASI, D. C.; KONOPKA, D.; OLIVEIRA, J.; POLISELI-SCOPEL, F. H.; BAINY, E. M. (2017). Processamento de fishburguer utilizando subprodutos da filetagem de tilápia: Caracterização físico-química, análise do congelamento e avaliação da vida de prateleira. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos - REBRAPA*.
- NECKEL, V. J.; MARIANI, V. C. (2010). Modelagem do congelamento da beterraba. Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, Curitiba – PR.
- NETO, C. B. (2010). Transferência de calor (TCL). v1 – Parte 3. São José: Instituto Federal de Santa Catarina - SC.
- PHAM, Q. T. (1996). Prediction of calorimetric properties and freezing time of foods from composition data, *Journal of Food Engineering*, 95-107.
- PIROZZI, D. C. Z.; AMENDOLA, M. (2005). Modelagem matemática e simulação numérica do resfriamento rápido de morango com ar forçado. *Engenharia Agrícola*, v. 25, 222-230.
- SARTORI, A. A.; AMARANTE, A. C. C.; MARIANI, V. C. (2006). Estudo experimental e numérico da transferência de calor no congelamento do purê de cenoura. *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and engineering – ENCIT*.
- SILVA, M. (2002). Cinética de Resfriamento e congelamento dos frutos de cajá (*Spondias lutea* L.). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande – PB.
- SILVA, M. M. (2005). Modelagem e Simulação da Transferência de Calor em Alimentos com Forma Paralelepipedal. Estudo de Caso: Resfriamento e Congelamento de Batatas. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. ed. 2. Zaragoza (España): Acribia, S. A.

SOUZA, Jarbas Luiz Lima (2018). Avaliação experimental e numérica da cinética de congelamento do músculo de abrótea (*Urophycis brasiliensis*) e de anchova (*Pomatomus saltatrix*). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS.

SOUZA, M. C.; TEIXEIRA, L. J. Q.; ROCHA, C. T. (2013). Emprego do frio na conservação de alimentos. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, p.1027.

VASCONCELOS, M. A. S.; FILHO, A. B. M. (2010). Conservação de alimentos. Programa Escola Técnica Aberta do Brasil – ETEC, Recife.

FAO. (2016, 7 de Julho). Produção da aquicultura no Brasil poderá crescer 104% até 2025, destaca levantamento da FAO. [Noticiário]. Recuperado de <https://brasil.un.org/pt-br/73623-producao-da-aquicultura-no-brasil-podera-crescer-104-ate-2025-destaca-levantamento-da-fao>.

ANEXO I

Cover Letters

Cover letters are not mandatory; however, they may be supplied at the author's discretion. Please use this section to explain any heavy textual overlap that may come up on a CrossCheck report, such as the manuscript being based on a thesis or previously published on a pre-print server.

Parts of the Manuscript

The manuscript should be submitted in separate files: main text file; figures.

Main Text File

Authors are encouraged to prepare the manuscript text using their own words, and discouraged to reproduce text from previously published literature, even if it was an earlier published work of the author. Please refer section 5 editorial policies and ethical consideration for more details. The text file should be presented in the following order:

- i. A short informative title that contains the major key words. The title should not contain abbreviations (see Wiley's [best practice SEO tips](#));
- ii. A short running title of less than 40 characters;
- iii. The full names of the authors;
- iv. The author's institutional affiliations where the work was conducted, with a

footnote for the author's present address if different from where the work was conducted;

v. Abstract and keywords;

vi. Main text;

vii. Acknowledgments;

viii. References;

ix. Tables (each table complete with title and footnotes);

x. Figure legends;

xi. Appendices (if relevant).

Figures and supporting information should be supplied as separate files.

Authorship

Please refer to the journal's authorship policy the [Editorial Policies and Ethical Considerations](#) section for details on eligibility for author listing.

Acknowledgments

Contributions from anyone who does not meet the criteria for authorship should be listed, with permission from the contributor, in an Acknowledgments section. Financial and material support should also be mentioned. Thanks to anonymous reviewers are not appropriate.

Conflict of Interest Statement

Authors will be asked to provide a conflict of interest statement during the submission process. For details on what to include in this section, see the section 'Conflict of Interest' in the [Editorial Policies and Ethical Considerations](#) section below. Submitting authors should ensure they liaise with all co-authors to confirm agreement with the final statement.

Abstract

This should be a concise statement of the entire work and formatted as follows: 1) Aim or purpose of the research in one or two sentences. 2) Methods briefly outlining experimental and/or theoretical approaches utilized in the study, data analysis procedures used including statistical analysis 3) Results summarizing significant results and their implications. 4) Conclusions which reflect back upon the aims. The abstract should not exceed 250 words. Authors are discouraged to cite references or use of abbreviations within the abstract. However, abbreviations may be used by defining them at mention in the abstract.

Keywords

Please provide up to six keywords.

Practical Applications

Authors use this section to highlight paper's practical or anticipated industrial applications of the research. In less than 150 words, describe the potential industrial or practical benefits of your research so that a layperson can appreciate the impact or benefits of your work. Carefully written practical application may get the attention of news media, food industry personnel and potentially increase readership of your article. Please make sure the claims in this section are supported by scientific evidence from your research.

Main Text

- The main text should include the introduction, materials and methods, results, and discussion.
- The journal uses US spelling; however, authors may submit using either option, as spelling of accepted papers is converted during the production process.

Materials and Methods

If a method or tool is introduced in the study, including software, questionnaires, and scales, the author should state the license that is available under and any requirement for permission for use. If an existing method or tool is used in the research, the authors are responsible for checking the license and obtaining the permission. If permission was required, a statement confirming permission should be included in the Materials and Methods section.

References

References should be prepared according to the Publication Manual of the American Psychological Association (6th edition). This means in text citations should follow the author-date method whereby the author's last name and the year of publication for the source should appear in the text, for example, (Jones, 1998). The complete reference list should appear alphabetically by name at the end of the paper. Cite pertinent publications that are relevant to the study and readily available for the readers. Excessive citations are discouraged.

A sample of the most common entries in reference lists appears below. For more information about APA referencing style, please refer to the [APA FAQ](#). Note that for journal articles, issue numbers are not included unless each issue in the volume begins with page one, and a DOI should be provided for all references where available.

Journal article

Beers, S. R. , & De Bellis, M. D. (2002). Neuropsychological function in children with maltreatment-related posttraumatic stress disorder. *The American Journal of Psychiatry*, 159, 483–486. doi:10.1176/appi.ajp.159.3.483

Book

Bradley-Johnson, S. (1994). *Psychoeducational assessment of students who are visually impaired or blind: Infancy through high school* (2nd ed.). Austin, TX: Pro-ed.

Internet Document

Norton, R. (2006, November 4). How to train a cat to operate a light switch [Video file].

Retrieved from <http://www.youtube.com/watch?v=Vja83KLOXZs>

Footnotes

Footnotes should be placed as a list at the end of the paper only, not at the foot of each page. They should be kept to a minimum. Keep footnotes brief; they should contain only short comments tangential to the main argument of the paper and should not include references. They should be numbered in the list and referred to in the text with consecutive, superscript Arabic numerals.

Tables

Tables should be self-contained and complement, not duplicate, information contained in the text. They should be supplied as editable files, not pasted as images. Legends should be concise but comprehensive – the table, legend, and footnotes must be understandable without reference to the text. All abbreviations must be defined in footnotes. Footnote symbols: †, ‡, §, ¶, should be used (in that order) and *, **, *** should be reserved for P-values. Statistical measures such as SD or SEM should be identified in the headings.

Figure Legends

Legends should be concise but comprehensive – the figure and its legend must be understandable without reference to the text. Include definitions of any symbols used and define/explain all abbreviations and units of measurement.

Figures

Although authors are encouraged to send the highest-quality figures possible, for peer-review purposes, a wide variety of formats, sizes, and resolutions are accepted.

[Click here](#) for the basic figure requirements for figures submitted with manuscripts for initial peer review, as well as the more detailed post-acceptance figure requirements.

Color Figures

Figures submitted in color may be reproduced in colour online free of charge. Please note, however, that it is preferable that line figures (e.g. graphs and charts) are supplied in black and white so that they are legible if printed by a reader in black and white.

Guidelines for Cover Submissions

If you would like to send suggestions for artwork related to your manuscript to be considered to appear on the cover of the journal, please follow [these general guidelines](#).

Additional Files

Appendices

Appendices will be published after the references. For submission they should be supplied as separate files but referred to in the text.

Graphical Table of Contents

The graphical abstract is a visual representation to convey the gist of your manuscript among the readers. This feature will appear in the online Table of Contents of each issue of the journal. The graphical abstract may contain schematic diagram or photographs highlighting key methods and analysis along with unique findings and conclusions reported in the manuscript. To convey the significance of your manuscript among the broader JFPE readership, particularly non-specialists, be mindful to limit the text use (no more than 80 words or 3 sentences). Labels, while useful, must be kept to a minimum.

The graphical abstract should be an image file that utilizes one of the following height and width configurations: 400 x 300 pixel, 300 x 400 pixel, or 400 x 400 pixel, and at a maximal resolution of 72 dpi. Please use Arial or Helvetica font with a size of 10–12 points; preferred file types are EPS, TIFF or pdf. The Graphical Abstract is optional for all papers published in JFPE. When uploading, please designate the image as Graphical Abstract Image in ScholarOne Manuscripts.

Supporting Information

Supporting information is information that is not essential to the article, but provides greater depth and background. It is hosted online and appears without editing or typesetting. It may include tables, figures, videos, datasets, etc.

[Click here](#) for Wiley's FAQs on supporting information.

Note: if data, scripts, or other artefacts used to generate the analyses presented in the paper are available via a publicly available data repository, authors should include a reference to the location of the material within their paper.

General Style Points

The following points provide general advice on manuscript preparation, formatting and style.

- Clearly identify study assumptions and research limitations.
- Include sufficient information needed to justify your research, experimental methods

and analysis, but do not provide excessive details. If the information has been previously published, provide relevant citation(s).

- **Abbreviations:** In general, terms should not be abbreviated unless they are used repeatedly and the abbreviation is helpful to the reader. Initially, use the word in full, followed by the abbreviation in parentheses. Thereafter use the abbreviation only.
- **Equations:** Define all the variables used in the equations (along with proper units of measure) immediately after its use first time in the manuscript.
- **Units of measurement:** Measurements should be given in SI or SI-derived units. Visit the [Bureau International des Poids et Mesures \(BIPM\) website](#) for more information about SI units.
- **Numbers:** numbers under 10 are spelt out, except for: measurements with a unit (8mmol/l); age (6 weeks old), or lists with other numbers (11 dogs, 9 cats, 4 gerbils).
- **Trade Names:** Chemical substances should be referred to by the generic name only. Trade names should not be used. Drugs should be referred to by their generic names. If proprietary drugs have been used in the study, refer to these by their generic name, mentioning the proprietary name and the name and location of the manufacturer in parentheses.