

Experimentação e modelagem da transferência de energia em um copo de café

Uilla Fava Pimentel¹
Verônica Maria de Araújo Calado²
Adriana Farah³

Resumo:

A temperatura final de preparo da bebida de café é um fator importante para a saúde dos consumidores, uma vez que, de acordo com a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) (2016) “consumo de bebidas muito quentes”, bebidas consumidas acima de 65°C, são classificadas como “provavelmente cancerígena para seres humanos”. Portanto, recomenda-se o consumo de bebidas quentes com temperaturas inferiores a 65°C. Neste sentido, este estudo foi realizado a fim de acompanhar a perda de energia de copos de café e quantificar o tempo necessário de resfriamento para atingir a temperatura segura para consumo (65 °C). Foram realizados experimentos para acompanhar o resfriamento real da bebida de café, foi utilizado recipiente (reutilizáveis e descartáveis) disponíveis no mercado Brasileiro. Também foi implementado um modelo simplificado para descrever a curva de resfriamento de bebidas de café de acordo com o volume da bebida, tipo de material do recipiente e temperatura média ambiente. Esse modelo foi validado por comparação de dados e poderá ser utilizado para determinar o tempo de espera para o consumo de bebidas quentes seguras considerando as situações do dia a dia do consumidor.

Palavras-chave: Bebidas de café; Temperatura; Curva de resfriamento; Recipientes.

Abstract:

The final temperature of preparation of the coffee drink is an important factor for the health of consumers, since, according to the International Agency for Research on Cancer (IARC) (2016) “consumption of very hot drinks”, drinks consumed above 65 ° C, they are classified as “probably carcinogenic to humans”. Therefore, it is recommended to consume hot drinks with temperatures below 65°C. In this sense, this study was carried out in order to monitor the loss of energy from coffee cups and quantify the necessary cooling time to reach the safe temperature for consumption (65 ° C). Experiments were carried out to monitor the actual cooling of the coffee drink, a container (reusable and disposable) available on the Brazilian market was used. A simplified model was also implemented to describe the cooling curve of coffee drinks according to the

¹ Doutoranda - EQ/EPQB (UFRJ) – E-mail: uilla@eq.ufrj.br

² Professor Titular – Escola de Química (UFRJ)

³ Pós-doutorado – Instituto de Nutrição (UFRJ)

volume of the beverage, type of material of the container and average ambient temperature. This model was validated by data comparison and can be used to determine the waiting time for the consumption of safe hot drinks considering the consumer's daily situations.

Keywords: Coffee drinks; Temperature; Cooling curve; Disposable and reusable containers.

1. Introdução

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo (FOLMER et al., 2017). De acordo com dados da Organização Internacional do Café (OIC), foram consumidos um total de 9,9 milhões de toneladas de café cru nos dez primeiros meses de 2019. A bebida de café pode ser preparada de diversas formas (filtrado, moca, expresso), depende do método de preparo e da adição de outros componentes (leite, açúcar, cremes e outros) a bebida terá uma temperatura final (GLOESS et al., 2013).

A temperatura final de preparo da bebida de café é um fator importante para a saúde dos consumidores de café, uma vez que, de acordo com a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) (2016) “consumo de bebidas muito quentes”, bebidas consumidas acima de 65°C, são classificadas como “provavelmente cancerígena para seres humanos”. Por isso, recomenda-se o consumo de bebidas quentes com temperaturas inferiores a 65°C.

Existem poucos estudos na literatura que procuraram investigar os recipientes e a temperatura real em que as bebidas de café são servidas aos consumidores. Em 2018, Verst, Winkler e Iachenmeier investigaram as temperaturas de distribuição de bebidas quentes em máquinas de café domésticas e de máquinas do setor de Alimentos (*food service industry*) em três cidades da Alemanha (Karlsruhe, Stuttgart e Constance) no mês de abril de 2017. Eles registraram as temperaturas de atendimento de 356 cafés na indústria de food service e as temperaturas de 110 cafés em residências, e perceberam que as temperaturas medidas foram em média 10°C acima do limiar de temperatura da IARC tanto nas residências quanto na indústria de *food service* (valor médio de todas as medições: 75 °C ± 5 °C). Em 2020, Soares examinou

a temperatura em que as bebidas de café filtrado e expresso com e sem leite são servidas por estabelecimentos comerciais das cidades do Rio de Janeiro e Petrópolis, percebendo que a temperatura média aferida nas bebidas de café, servidas pelos estabelecimentos comerciais da cidade de Petrópolis, foi de 71,7°C, enquanto que na cidade do Rio de Janeiro foi de 73,6°C (SOARES, 2020, p. 24). A partir desses estudos, percebe-se que a temperatura da bebida de café servidas pelos estabelecimentos comerciais são superiores a recomendadas pelas IARC.

Observa-se, ainda, que devido à falta de tempo da sociedade atual, frequentemente, bebidas quentes são consumidas na mesma temperatura em que são entregues ao consumidor em estabelecimentos comerciais. Por isso, este estudo foi realizado a fim de acompanhar a perda de energia de copos de café e quantificar o tempo necessário de resfriamento para atingir a temperatura segura para consumo (65 °C). Foram realizados experimentos para acompanhar o resfriamento real da bebida de café, foi utilizado recipiente (reutilizáveis e descartáveis) disponíveis no mercado Brasileiro. Também foi implementado um modelo simplificado para descrever a curva de resfriamento de bebidas de café de acordo com o volume da bebida, tipo de material do recipiente e temperatura média ambiente. Esse modelo foi validado por comparação de dados e poderá ser utilizado para determinar o tempo de espera para o consumo de bebidas quentes seguras considerando as situações do dia a dia do consumidor.

2. Metodologia

2.1 Materiais

Todas as medidas de temperatura foram realizadas utilizando o termômetro digital (Inciterm, Brasil) tipo espeto com alarme, exatidão de $\pm 1^\circ\text{C}$. As medidas das dimensões (espessura, altura, raio boca e fundo) dos recipientes foram realizadas utilizando uma régua graduada, exatidão 5 mm. As medidas de volume foram obtidas indiretamente, foi considerando a densidade da água constante (1g/mL) e foi obtido o peso da água (g) e, assim, o volume (mL). A

Figura 1 mostra o conjunto experimental utilizado, nele existe uma haste adaptada para fixação do termômetro. Água foi aquecida utilizando uma chaleira elétrica (Britania 1,8L, BCH02). Os experimentos foram realizados no mês de setembro de 2020 em Bom do Itabapoana, Rio de Janeiro, Brasil.

Figura 1 - Conjunto experimental utilizado para fixação do termômetro e determinação da massa de água.



Foram utilizados os recipientes descartáveis e reutilizáveis apresentados nas Figura 2 e 3, com os seguintes materiais: poliestireno expandido (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliestireno expandido (PE), cerâmica (CE), vidro (VD) e inox a vácuo (AIV).

Figura 2 – Recipientes descartáveis (Poliestireno Expandido -PE; Polipropileno – PP; Poliestireno – PS).

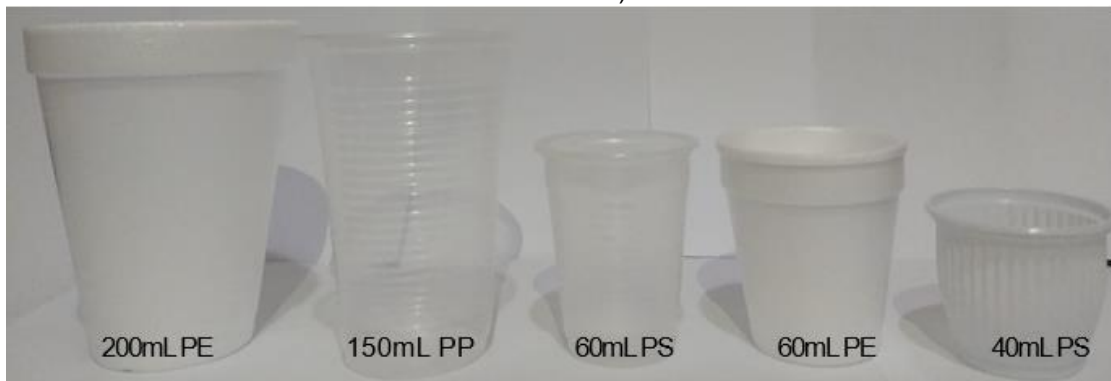


Figura 3 – Recipientes reutilizáveis (Aço inox a vácuo -AIO; Cerâmica – CE; Vidro – VD).



2.2 Métodos

2.2.1 Experimentação

Primeiramente, foi acompanhado o resfriamento da 200mL de água e café a fim de comparar as curvas de resfriamento. O experimento foi realizado em duplicata. O café foi preparado pelo método Filtrado a 10% (93,5 °C). Foi utilizado o copo de 200mL de poliestireno a temperatura ambiente média de 30,5°C).

Posteriormente, foi acompanhado o resfriamento da água utilizando: (1) condições ambientais diferentes, quente (32-33°C) e fria (19-21°C); (2) volumes de recipientes diferentes (40, 60, 150, 160, 200, 300 ml); (3) Materiais dos

recipientes diferentes (Aço inox a vácuo -AIO; Cerâmica – CE; Vidro – VD; Poliestireno Expandido -PE; Polipropileno – PP; Poliestireno – PS).

Para realizar as medidas de temperatura, aqueceu-se a água até iniciar sua ebulição, aproximadamente 100°C. A água quente foi transferida aos copos até atingir o volume do recipiente. Os registros da temperatura iniciaram-se no momento em que o termômetro marcara 92,5 °C. As medidas de temperatura foram obtidas a cada 30s até atingir temperaturas abaixo de 65,5°C. Foi realizado 3 repetições para cada condição, resultando no total de 54 experimentos. Os recipientes reutilizáveis foram escaldados com água fervente.

Equações (Linear, exponencial e polinomial) de cada curva de resfriamento (temperatura vs tempo) foram obtidas a fim de selecionar uma equação para representar a curva de resfriamento. A equação escolhida foi baseada no valor de R^2 . A partir das equações, foi obtido o valor do tempo de resfriamento correspondente a temperatura da bebida de $65,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, para isso foi utilizado o suplemento *solver* do Excel.

2.2.2 Modelagem simplificada

A modelagem simplificada foi realizada de acordo com Pimentel, Calado e Farah (2020). A figura 4 ilustra a metodologia da modelagem simplificada. As tabelas 1 e 2 apresentam os valores das constantes e variáveis utilizadas no modelo. A tabela 3 apresenta as dimensões dos copos utilizados nos experimentos.

Figura 4 - Ilustração da Metodologia da modelagem simplificada realizada Pimentel, Calado e Farah (2020).

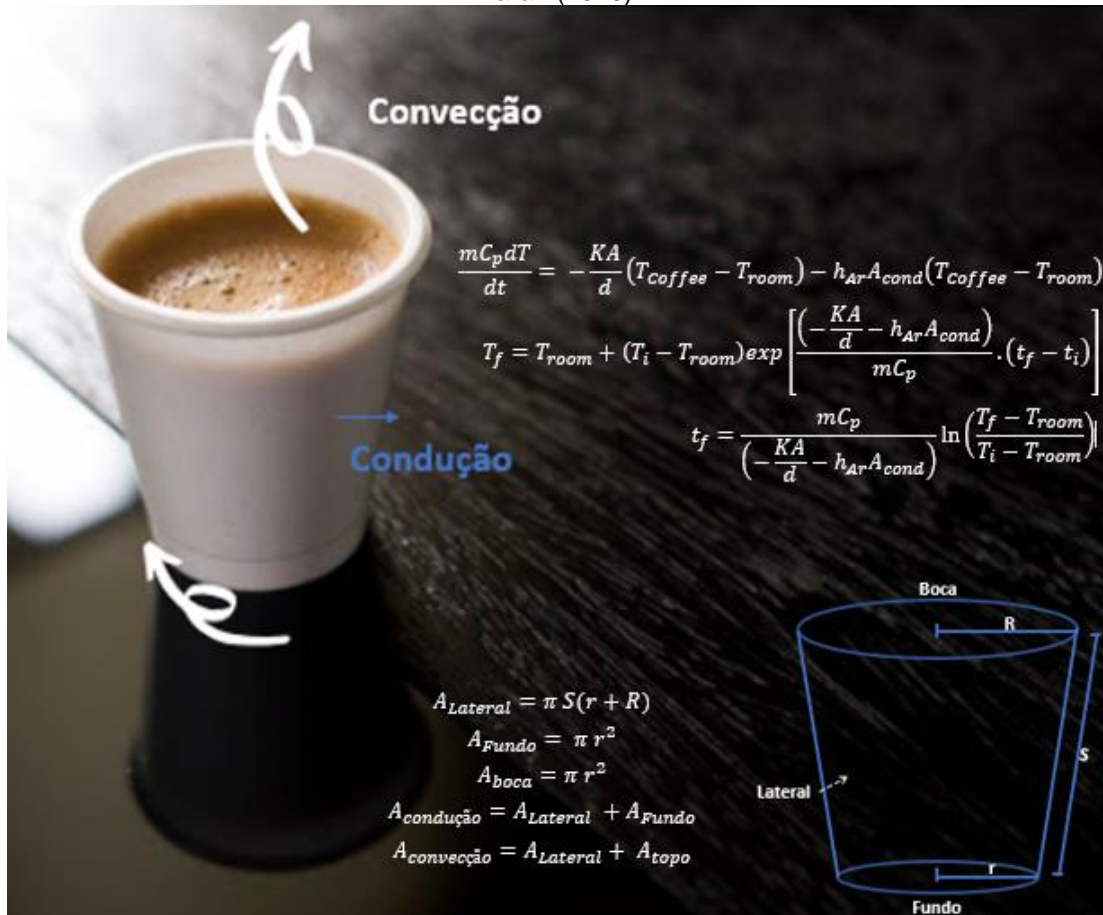


Tabela 1- Constantes gerais utilizadas no modelo

Constantes	Sigla	Valor
Coeficiente de convecção do ar ^a	h _{ar}	5 W / m ² K
Capacidade calorífica do café ^a	C _p	4180 J / Kg °C
Massa específica ^a	P	997 Kg / m ³
Temperatura final recomendada ^{b, c}	T _f	65 °C
Temperatura Inicial pelo método de preparo expresso ^d	T _i	92,5 °C

Fonte: a) BERGMAN *et al.*, 2014; b) IARC, 2018; c) LOOMIS, *et al.*, 2016; d) CAPRIOLI, *et al.*, 2014.

Tabela 2- Condutividades térmicas dos recipientes

Material	Condutividade
	K (W/(mK))
Cerâmica ^a	≅ 0,25
Vidro ^b	≅ 0,79
Poliestireno ^b	≅ 0,13
Poliestireno expandido - Isopor ^c	≅ 0,038
Polipropileno ^d	≅ 0,12
Ar ^e	≅0,023

Fonte: a) VIVALDINI et al., 2014; b) e d) CALLISTER, 2000; c) NETZSCH, 2020; e) PROTOLAB, 2020.

Tabela 3 – Dimensões dos recipientes de acordo com o volume e material em centímetros [cm]

Recipiente	Espessura	Dimensões Altura/DBase/DBoca
40mL PS	0,1	0,04/0,03/0,05
60mL PE	0,2	0,055/0,055/0,037
60mL PS	0,05	0,055/0,05/0,032
150mL PP	0,1	0,08/0,042/0,07
200mL PE	0,2	0,085/0,048/0,08
300mL AIV	0,5	0,10/0,08/0,08
300mL CE	0,4	0,11/0,06/0,09
160mL VD	0,4	0,07/0,042/0,09
160mL CE	0,5	0,07/0,005/0,085
200mL PE	0,2	0,085/0,048/0,08

2.3 Estatística e comparação dos resultados

Foram obtidos a média e o desvio padrão amostral para verificar se existe diferença entre o tempo de espera de resfriamento entre café e água pura.

Foi realizado ANOVA de fator múltiplos para verificar a existência de diferença estatística significativa entre a temperatura ambiente; volume e material dos recipientes. Para verificar se existe diferença significativa entre o tempo de resfriamento obtido pelo modelo e pelo obtido pelo resultado experimental, foi realizado Teste t para variáveis independentes. Foi utilizado o *software* Statistica para realização das regressões, ANOVA e teste t.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Café vs Água

A tabela 4 mostra os dados do tempo de resfriamento necessário para que o café e água, temperatura inicial de $76^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, atinjam $65,5^{\circ}\text{C}$. Considerando os dados apresentados, percebe-se que os tempos foram iguais, por isso, para os demais experimentos foram utilizados água quente ao invés de café.

Tabela 4 - Tempo de resfriamento necessário para o café e água, temperatura inicial de $76^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, atinjam $65,5^{\circ}\text{C}$

Tempo para atingir 65°C	t [min]		$t_{\text{médio}}$ [min]	Desvio-padrão
Café	7	7,5	7,25	0,35
Água	7	7,5	7,25	0,35

3.2 Curva de resfriamento e tempo de espera para os dados experimentais

As figuras 5, 6 e 7 mostram as curvas de resfriamento dos recipientes reutilizáveis e descartáveis. As Tabelas 5 apresentam o tempo de espera em minutos obtidos pelas equações polinomiais ao assumir temperatura da bebida de $65,5^{\circ}\text{C}$ para cada recipiente. Foi utilizado as equações polinomiais, pois, apresentaram melhor R^2 , anexo 1.

Figura 5 - Curva de resfriamento para os diferentes recipientes reutilizáveis em temperatura ambiente fria e quente

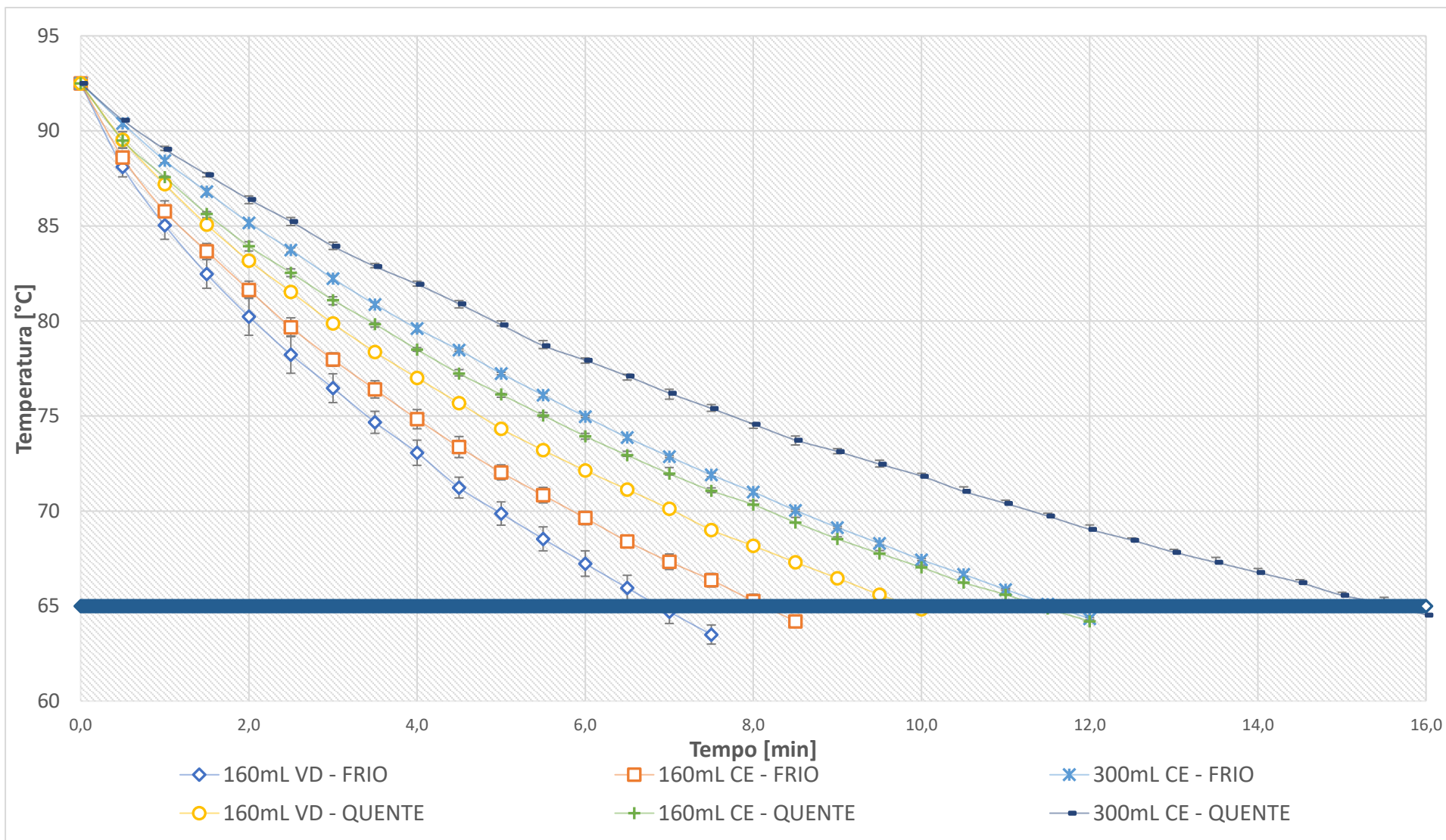


Figura 6 - Curva de resfriamento para os recipientes descartáveis em temperatura ambiente fria e quente

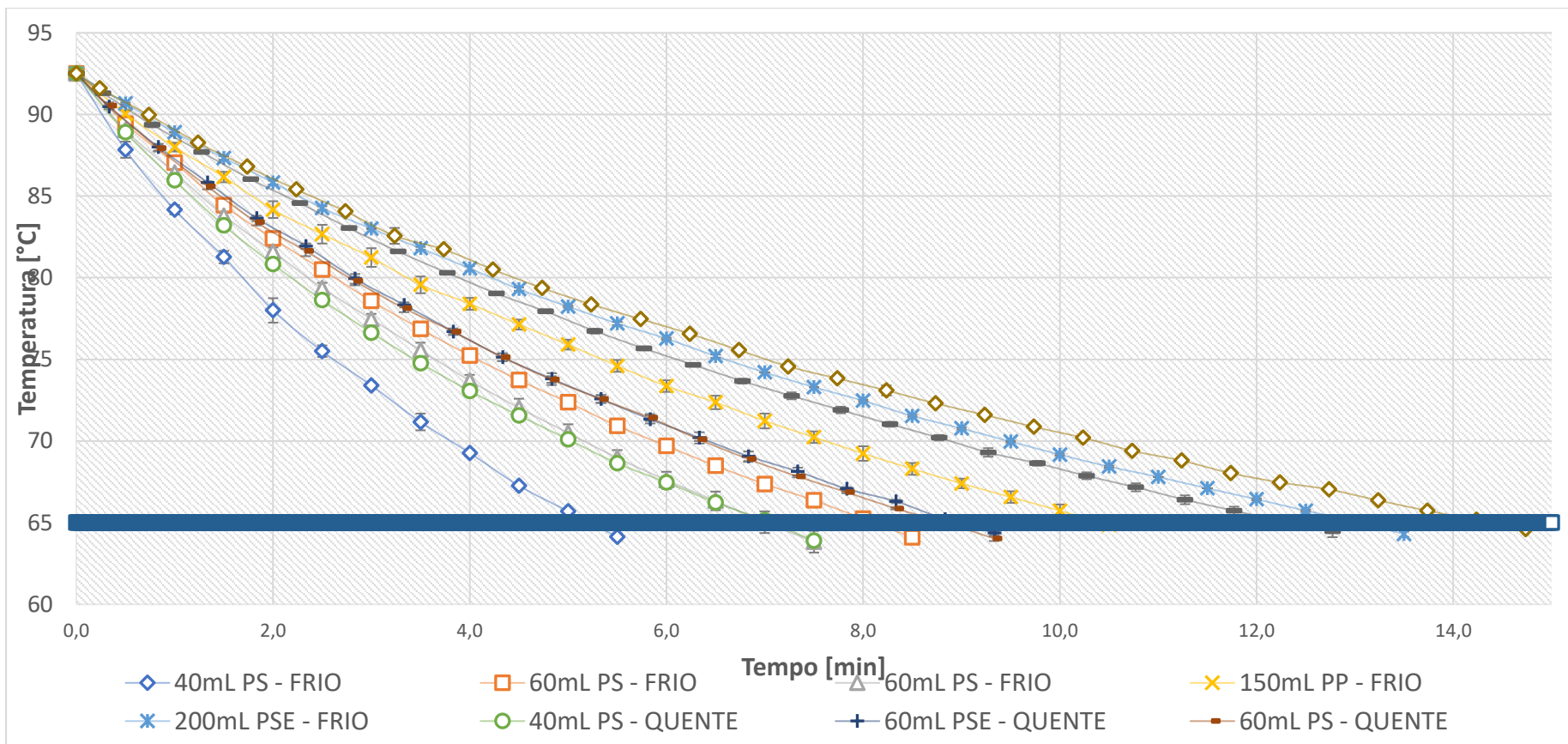


Figura 7 - Curva de resfriamento para o recipiente aço inox a vácuo em temperatura ambiente fria e quente

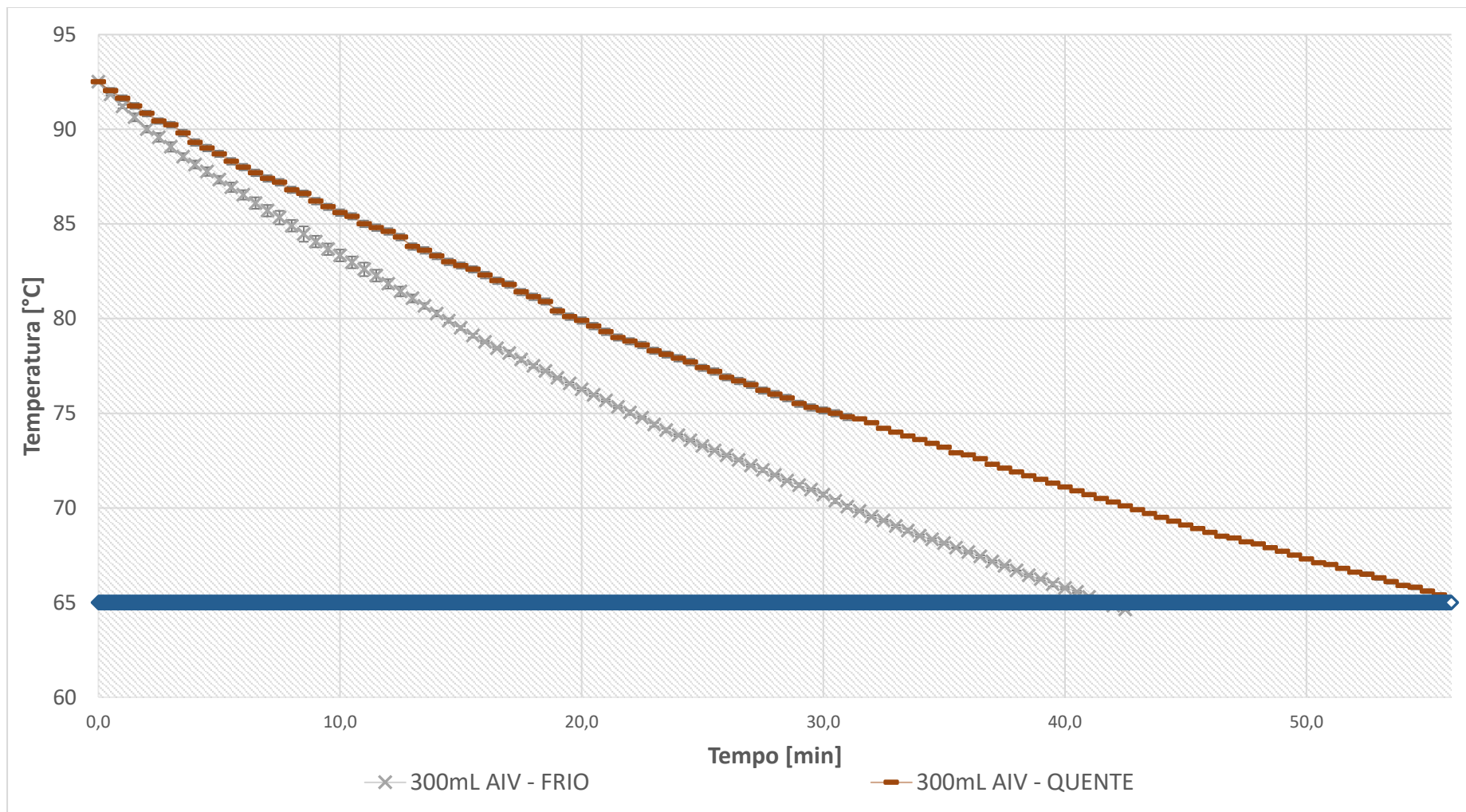


Tabela 6. Tempo de espera, mim, obtidos pelas equações polinomiais ao assumir Temperatura 65,5°C para os recipientes descartáveis e reutilizáveis

Replica	tratamento	Recipiente				
		40mL PS	60mL PE	60mL PS	150mL PP	200mL PE
1	Frio	5,083459	8,067823	6,667182	10,05074	12,8745626
2	Frio	5,105075	7,968759	7,183327	10,28612	12,7223549
3	Frio	5,040168	7,682657	6,659338	10,48265	12,7521718
1	Quente	6,83935	8,708583	8,666293	11,83075	25,1245966
2	Quente	6,80810	8,708583	8,544407	12,12426	24,2794913
3	Quente	6,81408	8,902853	8,559814	12,40602	24,7245203
Replica	tratamento	160mL VD	160mL CE	300mL CE	300mL AIV	
1	Frio	6,730765	8,111884	11,31381	41,01401	
2	Frio	6,926439	7,695	11,3824	41,2513	
3	Frio	6,31	8,111831	11,28703	40,87958	
1	Quente	9,757679	11,39889	15,45683	55,86655	
2	Quente	9,944123	11,38408	15,1925	55,46931	
3	Quente	9,790017	11,04918	15,65071	56,07757	

Foi verificado que a temperatura ambiente, material e volume foram fatores estatisticamente significativo para o tempo de esperar, $p \leq 0,05$ (anexo 2). Esses resultados estão de acordo com a literatura (BERGMAN et al., 2014; LANGER; WINKLER; LACHENMEIER, 2018; VERST, L. M.; WINKLER; LACHEN-MEIER, 2018). Eles indicam que ao estudar o tempo de espera do resfriamento de bebidas de café é recomendado atentar-se a temperatura ambiente em que o café será consumido o volume do café e recipiente utilizado.

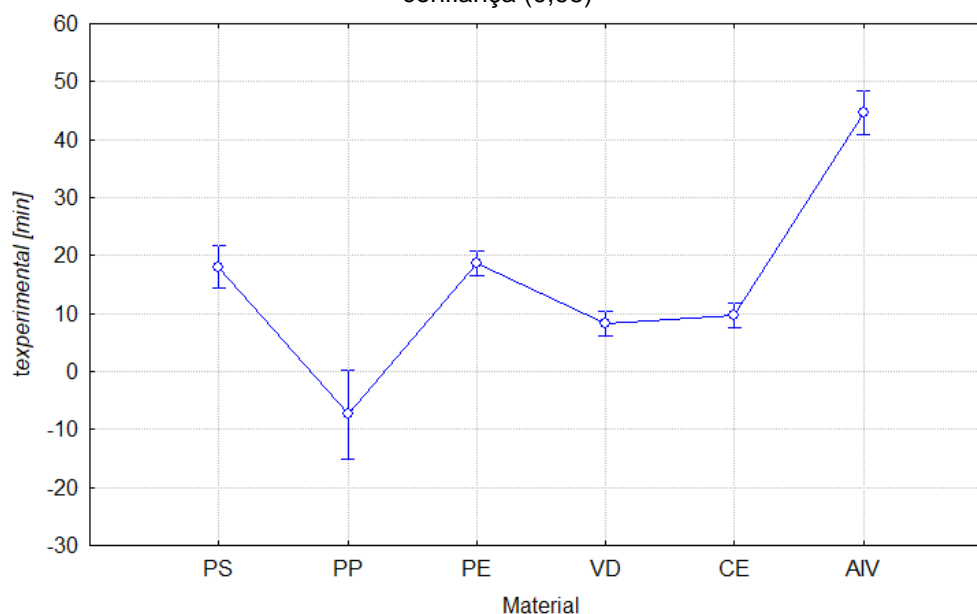
Nota-se nas Figuras 5, 6 e 7 maior tempo de espera em ambientes frio, pois ocorre um maior gradiente de temperatura e, conseqüentemente, maior taxa de resfriamento (BERGMAN et al., 2014).

O Gráfico de média dos fatores do tempo de espera de resfriamento para os materiais (Aço inox a vácuo AIV; Cerâmica – CE; Vidro – VD; Poliestireno Expandido - PE; Polipropileno – PP; Poliestireno – PS) são apresentados na figura 08. Os menores tempos de espera foram observados para o polipropileno (PP), vidro (VD). Já os maiores, para os recipientes de Aço inox a vácuo (AIV) e Poliestireno (PS e PSE). Esses resultados eram

esperados uma vez que os recipientes de AIV, PS e PSE possuem a menor condutividade e, conseqüentemente, menor taxa de resfriamento (BERGMAN et al., 2014; LANGER; WINKLER; LACHENMEIER, 2018; PIMENTEL; CALADO; FARAH, 2020).

Cabe destacar, que o recipiente de AIV apresentou o maior tempo de espera, isso ocorreu devido ao baixo valor de condutividade do ar (material isolante deste recipiente) e por apresentar tampa (Figura 3). De acordo com a literatura, a adição de uma tampa a qualquer copo tem grande impacto na taxa de resfriamento (NAIK; LEWIS; ALLISON, 2019; LANGER; WINKLER; LACHENMEIER, 2018; VERST; WINKLER; LACHEN-MEIER, 2018). As tampas são comuns em recipientes para viagens oferecidos por estabelecimentos comerciais, por isso, a indústria deve orientar os consumidores do perigo de consumos imediato. Os autores Langer, Winkler e Lachenmeier (2018) sugerem a impressão do tempo médio de resfriamento nos recipientes. Além disso, autores Langer, Winkler e Lachenmeier (2018) motivam estabelecimentos comerciais e consumidores a considerar os hábitos de consumo de café para a melhor escolha do material do copo ou xícara. Nesse sentido, não é possível realizar somente uma recomendação para consumo seguro de café ou de bebidas à base de água (composição de água => 90%).

Figura 08 - Gráfico de média dos fatores dos Materiais dos recipientes e as barras verticais dos intervalos de confiança (0,95)



3.4 Modelo vs Experimental

O tempo de espera médio (modelo e experimental) está apresentado na tabela 7. Não houve diferença estatística significativa entre o tempo de espera obtido pelos experimentos e pelo modelo implementado, $p \geq 0,05$ (anexo 3). Logo, o modelo pode ser utilizado para determinar tempo de espera.

Independente da complexidade do modelo, sempre irão existir aproximações e considerações. Nos modelos de resfriamento, a temperatura ambiente é um fator importante para a previsão do tempo de espera para o resfriamento, o que foi comprovado com os resultados experimentais (figura 7). Por isso, na modelagem sempre deve ocorrer distinções entre ambientes quentes e frios. Existem outros fatos que não foram levados em considerações no modelo, como a variações do coeficiente convectivo do ar e adição de outros ingredientes como açúcar, leite e outros. Sugere-se realizar experimentos com outras situações de consumo.

Tabela 7 - Tempo de espera para o modelo simplificado e os resultados obtidos experimentalmente [mim]

	Modelo		Experimental		Erro absoluto	
	Frio (20°C)	Quente (32°C)	Frio	Quente	Frio	Quente
40mL PS	3,5	4,5	5,1	6,8	1,65	2,3
60mL PE	8,3	10,5	7,9	8,8	0,4	1,7
60mL PS	1,30	2,1	6,7	8,7	5,4	6,6
150mL PP	2,6	3,25	10,27	12,12	7,7	8,9
200mL PE	14,11	17,93	12,78	24,71	1,33	6,8
160mL VD	1,6	2,1	6,66	9,83	5,06	7,73
160mL CE	9,24	11,74	7,97	11,39	1,27	0,35
300mL CE	5,52	7,2	11,33	15,46	5,81	8,26
300mL AIV	34,33	44	41,05	55,87	6,72	11,9

3.5 Excel

Apesar dos pormenores, o modelo apresentado foi capaz de informar o tempo de espera, com um grau de confiabilidade aceitável, para garantir a temperatura segura de consumo de bebidas de café. Por isso, o modelo foi implementado no Excel para ser utilizada e aplicada a diversas situações dos consumidores. A planilha com as células editáveis está disponível [no link: "https://drive.google.com/file/d/1fLUdN0DiYahqycsV4ojNvb7duDcwFEnI/view?usp=sharing"](https://drive.google.com/file/d/1fLUdN0DiYahqycsV4ojNvb7duDcwFEnI/view?usp=sharing)

Acredita-se que a popularização desta pesquisa juntamente com a previsão das temperaturas médias possa auxiliar o consumidor de café e de outras bebidas à base de água (composição de água => 90%) ao consumo seguro de bebidas quentes.

4. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível obter o tempo de espera médio de resfriamento para alguns recipientes disponíveis no mercado Brasileiro, além de comprovar a influência da temperatura ambiente e características do recipiente no resfriamento da bebida (material e volume). O modelo implementado foi capaz de descrever o resfriamento de bebidas de café (bebidas à base de água, composição de água => 90%) de acordo com as características do recipiente utilizado, permitindo determinar o tempo de espera aproximado para que as bebidas atinjam a temperatura de 65 °C.

Portanto, esta pesquisa disponibiliza uma modelo capaz de fazer previsão do tempo de espera médio, o que somado a conscientização dos consumidores, poderá servir de ferramenta inicial para o consumo seguro de bebidas quentes.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, Theodore L. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 7ª edição. 2014.

CALLISTER, William. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução** . Grupo Gen-LTC, 2000.

CALLISTER, William. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução** . Grupo Gen-LTC, 2000. Cap 19 (Aula)

CAPRIOLI, Giovanni et al. Optimization of espresso machine parameters through the analysis of coffee odorants by HS-SPME–GC/MS. **Food chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1127-1133, 2012.

CORDOBA, Nancy et al. Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 45-60, 2020.

DIRLER, Julia; WINKLER, Gertrud; LACHENMEIER, Dirk W. What temperature of coffee exceeds the pain threshold? Pilot study of a sensory analysis method as basis for cancer risk assessment. **Foods**, v. 7, n. 6, p. 83, 2018.

EMBRAPA. Densidade Relativa. <
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html#:~:text=A%20densidade%20do%20leite%20%C3%A9%2C%20em%20m%C3%A9dia%2C%201%2C032%20g%2F,uma%20densidade%20de%201%2C027>. Acesso 24 de agosto de 2020.

FOLMER, Britta et al. Human Wellbeing—Sociability, Performance, and Health. In: *The Craft and Science of Coffee*. Academic Press, 2017. p. 493-520.

GLOESS, Alexia N. et al. Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis. **European Food Research and Technology**, v. 236, n. 4, p. 607-627, 2013.

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Coffee, mate, and very hot beverages. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.* **2018**, 116. in press.

LOOMIS, Dana et al. Carcinogenicity of drinking coffee, mate, and very hot beverages. **Lancet Oncology**, v. 17, n. 7, p. 877, 2016.

LANGER, T.; WINKLER, G.; LACHENMEIER, D. W. Untersuchungen zum Abkühlverhalten von Heißgetränken vor dem Hintergrund des temperaturbedingten Krebsrisikos. **Deut. Lebensm. Rundsch**, v. 114, p. 307-314, 2018.

Marzocco, Charles. Cooling curves: a simple example of first-order analysis. *Chem 13 News*. 2008. [Link](#)

NETZSCH . Condutividade térmica. <
<https://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/materiais-aplicacoes/isolacao-termica/poliestireno-expandido-condutividade-termica/>>. Acesso 17 junho 2020.

OIC. International Coffee Organization. World coffee consumption. 2019. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.cecafe.com.br/site/wp-content/uploads/graficos/OIC-ConsumoMundial.pdf&hl=en>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

PROTOLAB - Laboratório de Propriedades Termofísicas. CONDUTIVIDADE TÉRMICA. Disponível <http://www.protolab.com.br/Condutividade_Termica.htm>. Acesso 16 junho 2020.

PROTOLAB - Laboratório de Propriedades Termofísicas. CONDUTIVIDADE TÉRMICA. Disponível <http://www.protolab.com.br/Condutividade_Termica.htm>. Acesso 17 junho 2020.

SILVA, Paulo Henrique Fonseca. 1997. Leite: Aspectos de Composição e Propriedades. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA. Disponível <<http://www.abccriadores.com.br/images/upload/quimsoc.pdf>> acesso 24 de agosto de 2020.

SOARES, Angela Martins. **TEMPERATURA DE CONSUMO DE BEBIDAS DE CAFÉ E INCIDÊNCIA DE CÂNCER DE ESÔFAGO NAS CIDADES DO RIO DE JANEIRO E PETRÓPOLIS**. 2020. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, Faculdade Arthur Sá Earp Neto, Petrópolis, 2020.

VERST, L. M.; WINKLER, G.; LACHEN-MEIER, D. W. Dispensing and serving temperatures of coffee-based hot beverages. **Exploratory survey as a basis for cancer risk assessment**. *Ernährungs Umschau*, v. 65, n. 4, p. 64-70, 2018.

VIVALDINI, D. O. et al. Revisão: Fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho. *Cerâmica*, v. 60, n. 354, p. 297-309, 2014.

WIDJAJA, Wanty. Modelling the Cooling of Coffee: Insights from a Preliminary Study in Indonesia. **Mathematics Education Research Group of Australasia**, 2010.

NAIK, A.; LEWIS, C. J.; ALLISON, K. P. Temperature dissociation of liquids in reusable thermoplastic containers—An eco-friendly scald risk?. *Burns*, v. 45, n. 7, p. 1621-1624, 2019.

Anexos

Regressões obtidas a partir das curvas de resfriamento para os recipientes descreváveis em temperatura ambiente fria (azul) e quente (vermelho)

40mL PS						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-4,942x + 89,215	0,9676	-5,0294x + 89,964	0,9791	-4,9685x + 89,455	0,9767
Exponencial	89,77e ⁻ 0,065x	0,9831	90,595e ⁻ 0,066x	0,991	90,064e ⁻ 0,065x	0,9898
Polinomial	0,5709x ² - 8,0821x + 91,832	0,9977	0,4721x ² - 7,6261x + 92,128	0,9992	0,48x ² - 7,6086x + 91,655	0,998
60mL PSE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-3,1896x + 89,653	0,9783	-3,1979x + 89,469	0,9758	-3,249x + 89,378	0,9762
Exponencial	y = 90,283e ⁻ 0,042x	0,9903	90,091e ⁻ 0,042x	0,9887	90,026e ⁻ 0,043x	0,9892
Polinomial	y = 0,2012x ² - 4,8996x + 91,933	0,9991	y = 0,2132x ² - 5,01x + 91,885	0,9989	0,2147x ² - 5,0742x + 91,811	0,9989
60mL PS						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	

	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-3,7429x + 89,599	0,9783	-3,605x + 89,775	0,9794	-3,7682x + 89,893	0,9848
Exponencial	90,274e ⁻ 0,049x	0,9907	90,399e ⁻ 0,047x	0,9911	y = 90,621e ⁻ 0,05x	0,9948
Polinomial	0,2674x ² - 5,7482x + 91,938	0,9992	0,2501x ² - 5,4805x + 91,963	0,9992	0,2228x ² - 5,4395x + 91,843	0,9993
150mL PP						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-2,5344x + 89,269	0,9771	-2,5441x + 89,775	0,9806	-2,5172x + 89,879	0,9826
Exponencial	89,884e ⁻ 0,033x	0,9895	90,405e ⁻ 0,033x	0,9916	90,504e ⁻ 0,033x	0,9928
Polinomial	0,1312x ² - 3,912x + 91,565	0,9981	= 0,1239x ² - 3,8452x + 91,943	0,9992	0,116x ² - 3,7353x + 91,909	0,9993
200 mL PS expandido						
	Rep 1				Rep 1	
	Equação		Equação		Equação	
Linear	-2,0006x + 89,5	Linear	-2,0006x + 89,5	Linear	-2,0006x + 89,5	Linear
Exponencial	90,141e ⁻ 0,026x	Exponencial	90,141e ⁻ 0,026x	Exponencial	90,141e ⁻ 0,026x	Exponencial
Polinomial	0,083x ² - 3,1214x + 91,929	Polinomial	0,083x ² - 3,1214x + 91,929	Polinomial	0,083x ² - 3,1214x + 91,929	Polinomial
40mL PS						

	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-3,6559x + 89,247	0,9717	-3,6397x + 89,043	0,9696	-3,6597x + 89,205	0,9709
Exponencial	89,855e ⁻ 0,048x	0,9861	89,636e ⁻ 0,048x	0,9846	89,81e ⁻ 0,048x	0,9855
Polinomial	0,2973x ² - 5,8859x + 91,849	0,9987	0,3061x ² - 5,9354x + 91,721	0,9984	0,3027x ² - 5,9302x + 91,854	0,9988
60mL PE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-2,9417x + 89,502	0,9735	-2,9218x + 89,32	0,9716	-2,9058x + 89,532	0,9749
Exponencial	90,089e ⁻ 0,038x	0,9868	89,894e ⁻ 0,038x	0,9855	90,108e ⁻ 0,038x	0,9879
Polinomial	0,1891x ² - 4,6861x + 91,968	0,9993	0,1891x ² - 4,6861x + 91,968	0,9993	0,1799x ² - 4,5636x + 91,87	0,9988
60mL PS						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-2,9086x + 89,159	0,9716	-2,9656x + 89,463	0,974	- 2,9582x + 89,572	0,9782
Exponencial	89,731e ⁻ 0,038x	0,9858	90,06e ⁻ 0,039x	0,9875	0,1689x ² - 4,5144x + 91,767	0,9986

Polinomial	$0,1904x^2$ - $4,6682x$ $+ 91,656$	0,9983	$0,1878x^2$ - $4,6938x$ $+ 91,895$	0,9989	$0,1689x^2$ - $4,5144x$ $+ 91,767$	0,9986
150mL PP						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R^2	Equação	R^2	Equação	R^2
Linear	$-2,1529x$ $+ 89,465$	0,9758	$-2,1337x$ $+ 89,495$	0,9743	$-2,1078x$ $+ 89,492$	0,9743
Exponencial	$90,073e^{-0,028x}$	0,9887	$90,084e^{-0,028x}$	0,9874	$90,069e^{-0,027x}$	0,9873
Polinomial	$0,0966x^2$ - $3,369x$ $+ 91,837$	0,999	$0,0994x^2$ - $3,3864x$ $+ 91,946$	0,9992	$0,0978x^2$ - $3,3426x$ $+ 91,916$	0,999
200mL PE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R^2	Equação	R^2	Equação	R^2
Linear	$-1,8162x$ $+ 89,372$	0,9741	$-1,8245x$ $+ 89,281$	0,9718	$-1,8392x$ $+ 89,416$	0,9733
Exponencial	$89,942e^{-0,024x}$	0,9872	$89,851e^{-0,024x}$	0,9856	= $89,993e^{-0,024x}$	0,9866
Polinomial	$0,0728x^2$ - $2,8747x$ $+ 91,771$	0,9986	$0,0762x^2$ - $2,9334x$ $+ 91,802$	0,9983	$0,0756x^2$ - $2,9367x$ $+ 91,894$	0,9989

Tabela 6. Regressões obtidas a partir das curvas de resfriamento para os recipientes reutilizáveis em temperatura ambiente fria (azul) e quente (vermelho)

160mL VD						
-----------------	--	--	--	--	--	--

	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-2,6408x + 89,03	0,97	-2,6138x + 89,016	0,9713	-2,5991x + 88,679	0,9692
Exponencial	89,597e ^{-0,034x}	0,9845	89,575e ^{-0,034x}	0,9851	89,226e ^{-0,034x}	0,9839
Polinomial	0,1662x ² - 4,3029x + 91,662	0,998	0,1622x ² - 4,2361x + 91,585	0,9986	0,1643x ² - 4,2418x + 91,28	0,9974
160mL CE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-2,1889x + 88,614	0,971	-2,2448x + 88,905	0,9531	-2,279x + 88,784	0,9731
Exponencial	89,19e ^{-0,029x}	0,9851	89,457e ^{-0,029x}	0,9738	89,365e ^{-0,03x}	0,9865
Polinomial	0,1135x ² - 3,5504x + 91,223	0,998	0,1345x ² - 3,8588x + 91,998	0,9885	0,1179x ² - 3,635x + 91,27	0,998
300mL CE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-1,6981x + 89,538	0,9662	-1,661x + 89,018	0,9761	-1,6503x + 89,245	0,9771
Exponencial	90,154e ^{-0,022x}	0,9825	89,641e ^{-0,022x}	0,9887	89,86e ^{-0,022x}	0,9891
Polinomial	0,0672x ² - 2,7736x + 92,316	0,9936	0,059x ² - 2,6049x + 91,457	0,9984	0,0579x ² - 2,5762x + 91,637	0,9988
300mL AIV						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-0,4744x + 90,337	0,9895	-0,4761x + 90,389	0,9893	-0,4672x + 89,988	0,9872
Exponencial	91,041e ^{-0,006x}	0,9966	91,098e ^{-0,006x}	0,9966	90,658e ^{-0,006x}	0,9952

Polinomial	$0,0033x^2 - 0,6596x + 92,05$	0,9997	$0,0033x^2 - 0,6629x + 92,117$	0,9996	$0,0035x^2 - 0,6657x + 91,824$	0,9993
160mL VD						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	$-3,6454x + 89,086$	0,9757	$-3,5709x + 88,922$	0,9729	$-3,6124x + 87,934$	0,9622
Exponencial	$89,718e^{-0,048x}$	0,9891	$89,512e^{-0,047x}$	0,987	$88,505e^{-0,048x}$	0,9804
Polinomial	$0,2664x^2 - 5,6436x + 91,417$	0,9976	$0,2747x^2 - 5,6313x + 91,326$	0,9971	$0,3178x^2 - 5,9958x + 90,714$	0,9935
160mL CE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	$-3,1088x + 88,979$	0,9734	$-3,116x + 88,249$	0,9653	$-3,1088x + 88,979$	0,9734
Exponencial	$89,558e^{-0,041x}$	0,9871	$88,803e^{-0,041x}$	0,9818	$89,558e^{-0,041x}$	0,9871
Polinomial	$0,2122x^2 - 4,9121x + 91,383$	0,9976	$0,2387x^2 - 5,1447x + 90,954$	0,9955	$0,2122x^2 - 4,9121x + 91,383$	0,9976
300mL CE						
	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	$-2,2702x + 89,729$	0,9813	$-2,264x + 89,792$	0,9824	$-2,2546x + 89,572$	0,9821
Exponencial	$90,399e^{-0,03x}$	0,9922	$90,463e^{-0,03x}$	0,9929	$= 90,239e^{-0,029x}$	0,9928
Polinomial	$0,0955x^2 - 3,4162x + 91,926$	0,9993	$0,0925x^2 - 3,374x + 91,92$	0,9994	$0,0919x^2 - 3,3572x + 91,685$	0,999
300mL AIV						

	Rep 1		Rep 2		Rep3	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Linear	-0,626x + 89,659	0,9871	-0,6354x + 90,088	0,9874	-0,6336x + 89,948	0,9871
Exponencial	90,355e ^{-0,008x}	0,9954	90,806e ^{-0,008x}	0,9955	y = 90,66e ^{- 0,008x}	0,9955
Polinomial	0,0063x ² - 0,893x + 91,528	0,9993	0,0064x ² - 0,906x + 91,983	0,9996	0,0064x ² - 0,9064x + 91,858	0,9996

ANEXO 2

Anova de múltiplos fatores para o tempo de espera de resfriamento.

Univariate Tests of Significance for *texperimental [min] (cupofcoffee3)*
Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept		0			
Tambiente [°C]	311.013	1	311.013	46.7501	0.000000
Material	3691.540	3	1230.513	184.9653	0.000000
Volume [mL]	367.767	3	122.589	18.4270	0.000000
Error	292.718	44	6.653		

ANEXO 3

Teste t para amostras independentes

T-test for Independent Samples (expvsmodelo)
Note: Variables were treated as independent samples

Group 1 vs. Group 2	Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p	Valid N Group 1	Valid N Group 2	Std.Dev. Group 1	Std.Dev. Group 2	F-ratio Variances	p Variances
Experimental vs. Modelo	14.63556	10.21222	1.061150	34	0.296102	18	18	13.30976	11.64541	1.306265	0.587845