

CAPÍTULO 7

LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE TELHAS ECÓLOGICAS E CERÂMICAS

Data de submissão: 27/09/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Adalton Ferreira Guimarães

Instituto Federal do Piauí – IFPI

Teresina-PI

<http://lattes.cnpq.br/6319317418343719>

Luiz Henrique Deolindo da Silva Moura

Centro Universitário UNINOVAFAPI

Teresina-PI

<http://lattes.cnpq.br/2877009435469466>

Dorivaldo Pereira Carvalho

Universidade Estadual do Piauí – UESPI

Teresina-PI

<https://lattes.cnpq.br/3833103848083707>

RESUMO: Esta pesquisa tem como principal objetivo, aplicar a Lei de Resfriamento de Newton na análise do comportamento de telhas ecológicas e telhas cerâmicas quanto ao aquecimento e ao resfriamento. Para tal, foi realizada uma pesquisa experimental onde ambos os tipos de telhas foram induzidos a uma temperatura inicial de 33°C e expostas ao sol a uma temperatura ambiente de 38°C, por um período de 10 minutos, onde a telha ecológica chegou a 42,9°C e a cerâmica 42,2°C. Esses dados foram lançados em uma EDO (Equação Diferencial Ordinária) de modelagem formulando

um PVI (Problema de Valor Inicial) de comportamento térmico para ambas as telhas. Em posse das equações foi possível concluir que a telha Ecológica apresenta um menor potencial quando se trata de conforto térmico para regiões que sofrem com altas temperaturas pois, diferentemente da telha cerâmica, ela tende a aquecer mais rápido e resfriar mais lentamente. Nos gráficos relacionados é possível observar que a telha cerâmica se sobressai no quesito resfriamento, considerando que ela apresenta características nas quais a possibilita um alcance de equilíbrio térmico com o ambiente, quando esse encontra-se a temperatura diferente, em um tempo considerado curto.

PALAVRAS-CHAVE: Equações Diferenciais. Lei de Resfriamento de Newton. Telhas Ecológicas. Telhas Cerâmicas.

**NEWTON'S LAW OF COOLING:
ANALYSIS OF THERMAL BEHAVIOR
OF ECOLOGICAL AND CERAMIC
TILES**

ABSTRACT: This research has as main objective, to apply the Law of Cooling of Newton in the analysis of the behavior of ecological tiles and ceramic tiles in relation

to the heating and the cooling. For this, an experimental research was carried out where both types of tiles were induced at an initial temperature of 33 ° C and exposed to the sun at an ambient temperature of 38 ° C for a period of 10 minutes, where the ecological tile reached 42.9 ° C and the ceramic 42.2 ° C. These data were released in an ODE (Ordinary Differential Equation) modeling formulating a thermal behavior value (PVI) for both tiles. In the possession of the equations it was possible to conclude that the Ecological tile presents a lower potential when it comes to thermal comfort for regions that suffer from high temperatures because, unlike ceramic tile, it tends to heat faster and cool more slowly. In the related graphs it is possible to observe that the ceramic tile excels in the cooling issue, considering that it presents characteristics in which it allows a reach of thermal equilibrium with the environment, when this is the different temperature, in a considered short time.

KEYWORDS: Differential Equations. Newton's Cooling Law. Ecological Tiles. Ceramic Tiles.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Bronson (2008), equações diferenciais são aquelas que apresentam derivadas ou diferenciais nas quais suas funções ainda não são conhecidas. As Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) englobam derivadas de uma função que apresentam variáveis independentes. A utilização de EDO possibilita ao indivíduo desenvolver modelos matemáticos apropriados e a descrever fenômenos de inúmeros tipos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos. A engenharia é umas das principais ciências aplicadas que utilizam as EDO para o desenvolvimento de projetos de diversas naturezas. E considerando a engenharia civil, sua utilização pode interferir desde a produção de um simples bloco cerâmico, até construções de obras de grande porte, como edifícios, pontes, barragens etc.

Para este artigo buscou-se aplicar a Equação Diferencial Ordinária (EDO) desenvolvida na Lei de Resfriamento de Newton, para avaliação do comportamento térmico de telhas cerâmicas em relação a telhas ecológicas quando são submetidas às mesmas variações de temperaturas em um dado tempo. Considerando que esta lei assegura que as taxas de perda de calor de determinado corpo é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre esse corpo e o meio ambiente no qual o mesmo está inserido, de maneira direta, demonstra como variáveis o tempo e a variação de temperatura entre os agentes do estudo, considerando tanto a forma do objeto quanto a sua composição.

Deste modo, a lei de resfriamento será aplicada no estudo de telhas ecológicas e cerâmicas, considerando que os materiais que as compõem são extremamente diferentes. O que resultará em respostas diferenciadas para ambos os estudos.

É importante ressaltar que a telha ecológica é uma invenção inovadora a qual buscou utilizar matéria prima reciclada, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pelo acúmulo de matérias na crosta terrestre, o que vem provocando desequilíbrio ambiental e que poderá comprometer um dia a vida e o bem-estar humano porém, o fato destas telhas apresentarem características ambientais louváveis não elimina a característica que podem

gerar um desconforto térmico ou financeiro com a sua implantação.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Conexão dos conceitos e domínios matemáticos com as pesquisas analíticas e execução ou análise de experimentos permite o entendimento de diversos fenômenos tanto físicos, como químicos e biológicos, plausíveis por meio de modelagens matemáticas aplicando as equações diferenciais ordinárias para prevenir determinadas reações de qualquer material, e ainda soluções para os diversos problemas encontrados por meio de uma EDO adequada a descrever ou demonstrar esses fenômenos, possibilitando um aperfeiçoamento na qualidade dos processos.

Nesse sentido, em Dennis Zill (2009), podemos observar que uma equação diferencial abrange uma função incógnita e tanto ela como suas derivadas são descritas como ordinárias se sua função incógnita dependa somente de uma variável independente, considerando que sua ordem seja a mesma da mais elevada derivada presente na equação. Essa pesquisa baseia-se na Lei de Resfriamento de Newton na qual temos uma EDO linear de 1º ordem, estudada pelo método de variáveis separáveis, como descrita adiante:

$$\begin{cases} F(t, y, y') = 0 \\ \frac{dT}{dt} = f(t, y) \end{cases}$$

A partir disso descreve-se a equação da seguinte forma:

$$M(t, y)dt + N(y)dy = 0$$

Observa-se, então, que é admissível separar as funções para que cada membro da igualdade possua apenas um tipo de variável, permitindo assim a execução da integral em cada um dos membros de maneira simplificada e uma solução mais rápida.

A partir de diversas pesquisas bibliográficas e dos experimentos executados pela equipe foi possível realizar algumas considerações que esclareceram e colaboraram para a criação deste artigo.

3 | ANÁLISE TEÓRICA E MODELO MATEMÁTICO

Na análise de objetos a diferentes temperaturas é possível observar se os mesmos estão em contato. Se positivo, existirá uma transferência de calor do mais quente para o corpo mais frio até que ocorra um equilíbrio térmico, ou seja, quando ambos atingirem a mesma temperatura.

A Lei de Resfriamento de Newton permite a confirmação e a análise dessa observação, pois ela demonstra que a obtenção do equilíbrio térmico de um determinado sistema, englobando a partir de dois corpos acontece quando todos alcançam a mesma

temperatura. Bronson (2008) descreve que a taxa da variação no tempo da temperatura de um objeto é proporcional a variação de temperatura entre este objeto e o meio ambiente no qual ele está inserido.

De acordo Bassanezzi e Ferreira (1988), se um corpo qualquer, sem produção de calor interno, infiltrado em um ambiente que apresenta temperatura, a temperatura do mesmo procede a entrar em equilíbrio com a temperatura do meio ambiente. Se a temperatura do corpo for menor que a temperatura do ambiente ($T < T_a$) ele se aquecerá, senão ele se resfriará ($T > T_a$). Considerando a temperatura do corpo como uniforme ela se comportará como uma função do tempo, assim, $T = T(t)$ quanto maior for, $|T - T_a|$ mais acelerada será a variação de $T(t)$.

Por definição, temos que a Lei de Resfriamento de Newton se apresenta, equivalentemente, na EDO de modelagem

$$\frac{dT}{dt} = K(T - T_a)$$

Onde, $\frac{dT}{dt}$ é a variação da temperatura em relação ao tempo, K é um coeficiente de proporcionalidade, o qual vai depender do material exposto, T é a temperatura do corpo no tempo t e T_a é a temperatura do meio ambiente. Utilizando o método de separação de variáveis obtemos:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{T - T_a} &= kdt \Rightarrow \int \frac{dT}{(T - T_a)} = \int Kdt \\ \Rightarrow \ln(T - T_a) &= Kt + C \Rightarrow |T - T_a| = e^{Kt+C} \\ \Rightarrow |T - T_a| &= e^{Kt} \cdot e^C \Rightarrow T - T_a = \pm C_1 \cdot e^{Kt} \\ \Rightarrow T(t) &= T_a + C_2 \cdot e^{kt} \end{aligned}$$

Onde, para simplificar notação, fizemos $e^c = C_1$ e posteriormente $\pm C_1 = C_2$.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foram utilizados um exemplar de telha cerâmica, um de telha ecológica e um termômetro digital de alta sensibilidade para aferição de temperaturas superficiais e ambientais.

A telha ecológica estudada é composta por fibras vegetais de madeiras das mais variadas espécies e características, empregadas no auxílio dos componentes cimentícios. Para a produção dessas novas telhas são utilizadas também fibras de papel reciclado. As telhas possuem uma composição inovadora: A sua estrutura leva uma monocamada de material vegetal que são misturadas a betume, e em seguida envolvidas por uma resina especial. Essa resina proporciona proteção contra os raios ultravioletas, conservando a cor escolhida, e impedindo a escamação da superfície, comuns nas telhas com multicamadas

(YOSHIMURA, 2012).

A telha cerâmica utilizada foi composta basicamente por argila (20%-30%), areia (50%-60%), limo (2%-5%), óxido de ferro (no máximo 6%) e magnésio (no máximo 1%). Tudo isso em uma mistura homogênea exposta a uma temperatura próxima de 900° C (VIEIRA, 2013).

Ambas as telhas foram inicialmente induzidas a uma temperatura de 33° C e posteriormente colocadas a céu aberto a uma temperatura de 38° C expostas a luz solar.

5 | RESULTADOS

Ambas as telhas com temperaturas iniciais de 33° C expostas a luz solar com temperatura ambiente de 38° C por um período de 10 minutos apresentaram as seguintes variações:

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente (T_a) De 38°C exposta à luz solar	$T(t)$ $t=10\ min$
Cerâmica		42,2° C
Ecológica		42,9° C

Tabela 1: Variação de $T(t)$ para $T_a=38^\circ\text{C}$ à luz solar.

OBS: FAZER O GRÁFICO DE AQUECIMENTO INCLUINDO A TEMPERATURA PARA 7 min e também para 15 min.

De posse desses dados foi possível a aplicação da Lei de Resfriamento de Newton, obtendo respectivamente as seguintes equações para a variação de temperatura em função do tempo para ambas as telhas.

Equação 1: (Cerâmica)

$$T = 5e^{-0,01744t} + Ta$$

Equação 2: (Ecológica)

$$T = 5e^{-0,00202t} + Ta$$

Para representação da aplicação das equações utilizaremos dados aleatórios para ambas, considerando as mesmas expostas a uma temperatura ambiental (T_a) qualquer, em tempo variável:

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente (Ta) De 45°C exposta à luz solar	T em t(7)min.	T em t(30)min.	T em t(120)min
		49,42° C	47,96°C	45,67°C
Ecológica		49,92° C	49,70° C	48,92° C

Tabela 2: Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

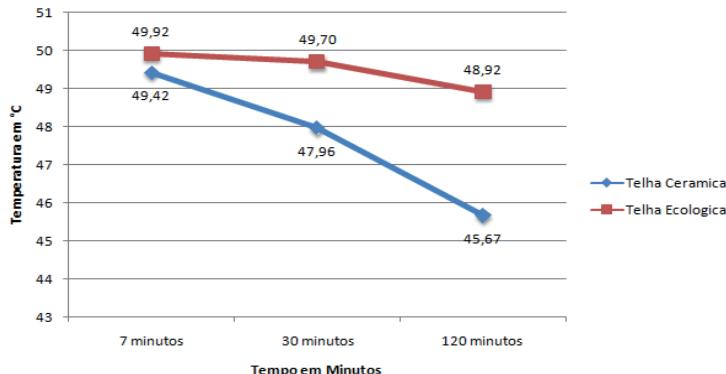


Figura 1: Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente (Ta) De 20°C exposta à luz solar	T em t(7)min.	T em t(30)min.	T em t(120)min
		24,42° C	22,96° C	20,60° C
Ecológica		24,92° C	24,70° C	23,92° C

Tabela 3: Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

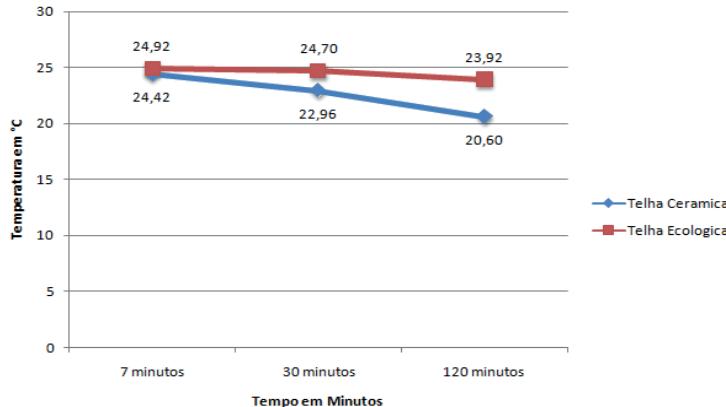


Figura 2: Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

6 | CONCLUSÃO

Considerando o Experimento realizado com a aplicação da Lei de resfriamento de Newton a telhas Ecológicas e cerâmicas, quando expostas a diferentes temperaturas em determinados períodos de tempos e consequentemente formulando uma equação para análise do comportamento desses materiais quando colocados a qualquer temperatura a qualquer período de tempo, concluímos que a telha Ecológica apresenta um menor potencial quando se trata de conforto térmico para regiões que sofrem com altas temperaturas, pois diferentemente da telha cerâmica ela tende a aquecer mais rápido (Figura 1) e resfriar mais lentamente (Figura 2). Nos gráficos relacionados é possível observar que a telha cerâmica se sobrepõe no quesito resfriamento, considerando que ela apresenta características nas quais a possibilita um alcance de equilíbrio térmico com o ambiente, quando esse encontra-se a temperatura diferente, em um tempo considerado curto.

Portanto a telha ecológica apresenta duas desvantagens básicas para os habitantes do nordeste brasileiro, pois é desconfortável termicamente e o preço para sua instalação é aproximado do dobro da telha cerâmica comum.

REFERÊNCIAS

- BASSANEZI, R.C.; FERREIRA JR, W.C. **Equações diferenciais com aplicações**. São Paulo: Harbra Ltda, 1998.
- BRONSON, R.; COSTA, G. **Equações diferenciais**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima (Ceramic bodies for roofing tiles: characteristics and firing behavior). **Cerâmica**, v. 49, 2013.
- ZILL, Dennis G.; CULLEN, Michael R. **Matemática Avançada para Engenharia-Vol II**. Bookman Editora, 2009.
- YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológicas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, 2012.