

Confecção de Blocos com Bambu: estudo referente a redução dos impactos ambientais, resfriamento dos blocos e análise acerca do conforto térmico.

Lucas Gomes Sousa Silva
Instituto Federal da Bahia – Brasil
lucassousaengenharia@gmail.com

José Lucas Leão Barros
Instituto Federal da Bahia – Brasil
Joselucas.leao@gmail.com

Polyane Alves Santos
Universidade Estadual de Campinas – Brasil
polyttamat@yahoo.com.br

ABSTRACT

In recent decades, there has been a growing technical and economic progress in the follow-up of the civil engineer. In this context, the field of materials gains great evidence worldwide in the perspective of finding not only alternative tools but also new materials aiming to further boost these advances in line with the reduction of environmental impacts. The present work had as objective to carry out a study of the application of mathematical modeling through the differential equations to analyze the temperature variation of blocks made with bamboo in order to verify the validity of Newton's Law of Cooling, analyzing the heat loss of the system to the environment after being heated in an oven, and, in addition, to study the thermal comfort of this block compared to those traditionally sold in the market. The methodology used involves the construction of concrete blocks, where instead of the incorporation of gravel in the process, it was chosen to use pieces of perforated bamboo. The results show that the modeling of the equation used is relevant for the calculation of the temperature variation of structural masonry, simulating a real condition of the civil construction scope, so that the governing equation of the cooling rate of the ceramic and concrete blocks can be formulated. Given the validation of the Law, it is possible to use the modeled equation to analyze and control actual temperature variations found in heating and cooling processes of blocks, being of great value for solving problems in the area.

Keywords: *Alternative blocks; Civil construction; Reduction of environmental impacts.*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Boyce (2002), das diversas aplicações da matemática, a determinação de resultados e previsões a respeito de um certo fenômeno está relacionado a modelagem de certas taxas, que significam variações das grandezas estudadas no decorrer do tempo e são, dentro dos cálculos desenvolvidos, representados pelas derivadas. Manipulando essas taxas e relacionando-as com uma função incógnita, tem-se uma Equação Diferencial, importante ferramenta matemática, na qual sua

modelagem define o funcionamento de eventos estudados pelas variadas áreas científicas, além de auxiliar na realização de diversas atividades do cotidiano.

Nesse sentido, a matemática aplicada é um fator que desempenha fundamental importância nas engenharias em termos gerais, uma vez que, a partir dela, é possível solucionar diversos problemas específicos da área. Na engenharia civil não é diferente e, por isso, o fomento nos últimos anos a práticas e estudos direcionados no que tange a utilização dessas ferramentas no sentido prático da profissão. Com esse contexto, o trabalho se propõe a estudar a Lei de Resfriamento de Newton não de forma teórica, mas de forma aplicável, em que o engenheiro consiga utilizar a matemática como um facilitador do exercício da sua profissão.

Não obstante, com o aumento populacional e a demanda ilimitada de recursos limitados pela sociedade, faz-se necessário que sejam repensados em todos os âmbitos mudanças de atitudes no que diz respeito a interação humana com o meio em que vive. Desta forma, existe o desafio em todos os setores da economia em estabelecer metodologias sustentáveis na cadeia produtiva para a redução dos impactos no meio ambiente e promover a integração social sem abandonar o crescimento e a competitividade de mercado. Na construção civil, as edificações sustentáveis e os materiais alternativos, são uma evolução e seus impactos vão além do meio ambiente, provocando mudanças, também comportamentais, como a cultura do não desperdício, utilização racional de energia, uso de transportes alternativos com baixa emissão de poluentes e emprego de materiais reciclados e de reuso.

Por meio de uma aplicação matemática e mediante a realização de um experimento, que compara blocos cerâmicos com um bloco de concreto, construído a partir da substituição da brita por pedaços de bambu picotado em tamanho equivalente, pode-se observar, analisar e obter resultados a respeito da variação de temperatura em função do tempo dos objetos de estudo e sua influência na modelagem da equação diferencial que define o comportamento da Lei de Resfriamento de Newton. Além disso, a partir dos resultados foi possível apontar fatores importantes sobre o isolamento térmico e constatar aspectos importantes sobre a redução dos impactos ambientais por meio dessa substituição.

Baseado nas considerações iniciais e nos achados da literatura, o presente trabalho propôs-se a analisar uma situação prática em que se verifique a validade da lei do resfriamento de Newton aplicada em materiais alternativos que podem ser utilizados na construção civil; a redução dos impactos ambientais a partir da substituição da brita pelo bambu; verificar a perda de calor com o ambiente de temperatura mais baixa, utilizando a lei do resfriamento de Newton; aplicar a modelagem matemática no estudo do decaimento da temperatura de blocos confeccionadas com cimento, areia grossa, pedaços de bambu picotado e água aquecidos em estufa; analisar em intervalos de tempo pré-determinados a variação da temperatura no interior dos alvéolos de blocos aparentes e relacionar a variação de temperatura com o material utilizado em cada bloco, comparando a perda de calor entre blocos cerâmicos e o bloco de concreto com bambu.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Mercado da engenharia civil obteve expressivo desenvolvimento nos últimos anos movimentando todo um seguimento industrial que reflete no aumento da utilização desde matéria prima até materiais como cerâmicas e polímeros. Nessa perspectiva, verifica-se que o consumo de agregados constitui-se como um importante indicador da situação econômica e social de uma nação. De acordo

com Valverde (2001), enquanto os EUA consomem, anualmente, cerca de 7,5 t por habitante de agregados e a Europa Ocidental, de 5 a 8 t por habitante/ano, no Brasil, o consumo está pouco acima de 2 t por habitante/ano. Mesmo dentro do país, os níveis de consumo de agregados têm diferenças significativas. O consumo no Estado de São Paulo chega a 4,5 t/hab/ano, enquanto que, em Fortaleza e Salvador, não atinge 2 t/hab/ano.

O grande problema desse aumento significativo da utilização de agregados, seja a nível mundial ou Brasil, são os desdobramentos ambientais existentes com a extração desses recursos. Os efeitos ambientais estão condicionados, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobre pressão atmosférica, vibração do terreno, ultra lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (BACCI et al.,2006).

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (brita, pedras e areia) e água. Basicamente, dentre as diversas funções, ao inserir a brita no concreto pretende-se conseguir resistência à abrasão ao elemento. Por conta dos impactos negativos em sua extração, existe uma preocupação em encontrar materiais alternativos que apresentem propriedades que possam substituir esses agregados sem que haja prejuízo nas características mecânicas (resistência) do elemento construtivo e que amenize a degradação ambiental.

O bambu é um material em grande evidencia na comunidade de pesquisas, devido a suas características peculiares que se enquadram na demanda existente. De acordo Kula (2012), o bambu apresenta uma excelente resistência mecânica em relação ao peso, devido, entre outras coisas, ao comprimento das fibras que o formam, que se comparam a materiais compósitos de alto desempenho, além de possuir resistência à abrasão e boa estabilidade dimensional. O crescimento rápido dessa planta é útil contra a erosão do solo. Sendo um material renovável, é apreciado no contexto do desenvolvimento sustentável.

Na maioria dos problemas presentes em algum ramo das Engenharias, possivelmente existe a ideia de encontrar soluções de determinadas equações diferenciais que explique o comportamento dos fenômenos que estão sendo estudados (ZILL, 2011). O estudo de fenômenos físicos está intimamente relacionado com conceitos e propriedades matemáticas, uma vez que a maioria desses fenômenos é descrita por meio de equações diferenciais que podem ser solucionadas de diversas maneiras e possuem muitas aplicações.

Podem-se tratar as equações diferenciais como modelos formulados para descrever situações reais, atentando-se tanto para suas resoluções quanto para o procedimento de modelagem. Na esfera da Matemática Aplicada, as Equações Diferenciais têm atuação importante na interação com as diversas áreas do conhecimento, já que as aplicações matemáticas envolvem modelos, métodos numéricos, simulação e a implementação e disseminação de softwares livres.

Segundo Ulysses Sodré (2003) as equações diferenciais envolvem uma função incógnita e suas derivadas e ela é dita ordinária se a função incógnita depende apenas de uma variável independente. A solução de uma Equação Diferencial é dada por funções que satisfazem a equação tornando-a uma

identidade.

Na aplicação aqui abordada, a equação diferencial ordinária é linear e de primeira ordem a qual pode ser solucionada pelo método de separação de variáveis. A lei empírica de resfriamento de Newton descreve que a taxa segundo a qual a temperatura de um corpo decresce é proporcional à diferença entre a temperatura do corpo e a temperatura do meio que o rodeia (ZILL, 2011). Essa lei parte do princípio da transferência de calor entre dois ou mais corpos até que seja atingido o equilíbrio térmico, considerando que a variação da temperatura é função das condições do ambiente, da diferença de temperatura entre o corpo e o meio externo, do material e do tempo em que o corpo permanece em contato com o ambiente. Além disso, a lei descreve um modelo real simples que leva em consideração uma temperatura ambiente constante.

A equação que descreve matematicamente o resfriamento de um corpo é dada por:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_m) \quad (1)$$

No qual $\frac{dT}{dt}$ é a taxa de variação da temperatura, k é a constante de proporcionalidade, $T(t)$ a temperatura atual do corpo e T_m a temperatura constante do meio ambiente.

O sinal negativo na (Eq. 1) indica que a temperatura do corpo está diminuindo com o passar do tempo. A resolução desta equação (Eq. 2) pode ser feita pelo método da separação de variáveis, que nos fornece a seguinte solução:

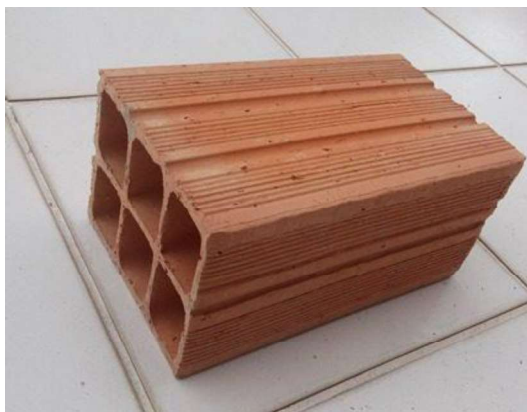
$$T(t) = Ce^{-kt} + T_m \quad (2)$$

Onde C é a constante gerada por conta da resolução da equação diferencial (Eq. 1).

3. METODOLOGIA

Os blocos cerâmicos (figura 1) foram selecionados obedecendo às especificações quanto às características físicas e mecânicas segundo as normas da ABNT NBR 15270:05. Já o bloco de concreto (figura 2) foi confeccionado na proporção de traço 1:3:3 e optou-se, visando a procura de um material alternativo, a substituição da brita por pedaços de bambu picotados, uma vez que, este é facilmente encontrado na região.

Figuras 1 e 2. Bloco cerâmico e confecção do concreto com bambu.



Fonte: acervo pessoal.

Após a seleção dos blocos, estes foram colocadas na estufa em duplicata, para esterilização e secagem modelo 402/N Ethik Technology- Nova Ética, em acordo com o manual do fabricante. Os blocos cerâmicos e blocos de concreto foram aquecidos individualmente em tempos de 30 minutos, posteriormente foram aferidas as temperaturas (**figura 3**) entre os septos dos blocos cerâmicos utilizando o termômetro de mercúrio em concordância ao manual do fabricante, obedecendo ao tempo de 5 minutos para que a temperatura do ar entre os alvéolos esteja em equilíbrio, e um intervalo de um minuto para que a temperatura retorne a ambiente. Sendo o procedimento repetido pelo menos cinco vezes em intervalos de seis minutos.

Figura 3. Blocos levados à estufa e aferição de suas respectivas temperaturas



Fonte: acervo pessoal.

Os resultados obtidos no experimento foram manipulados através do software MATLAB, onde foram plotados os gráficos das variações de temperatura dos protótipos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os procedimentos experimentais expostos anteriormente possibilitaram observar, analisar e discutir a respeito das variações de temperaturas percebidas no processo de aquecimento em estufa e posterior resfriamento à temperatura ambiente dos blocos cerâmicos estudados.

A modelagem da equação que obedece a Lei do Resfriamento de Newton para cada um dos blocos consistiu na determinação das constantes C e k da Eq. (2). Para isto foram selecionados dois pares de medidas de tempo e temperatura de cada procedimento e com as constantes determinadas obtiveram-se as equações que descrevem cada um dos modelos reduzidos de bloco. Dessa forma foi possível comparar as medidas obtidas experimentalmente com os resultados fornecidos pela equação modelada.

Os dados obtidos pelo bloco cerâmico estão evidenciados no (**Quadro 1**), considerando que a temperatura ambiente no momento do procedimento era $T_m = 29^\circ\text{C}$.

Quadro 1. Dados relativos ao bloco aparente.

Intervalo	Tempo [min]	Experimental	$T(t) = 10.1649 \cdot e^{-0,0479t} + 29$
		Temperatura [°C]	Temperatura [°C]
1	5	37,0	36,99
2	11	35,0	35,00
3	17	32,0	33,50
4	23	30,0	32,38
5	29	30,0	31,53

Fonte: elaborado pelos autores do artigo.

De maneira análoga, no (**Quadro 2**), apresentam-se os resultados logrados para o modelo constituído de blocos de concreto confeccionados com bambu. Considerando que a temperatura ambiente no momento do procedimento era $T_m = 29^\circ\text{C}$.

Quadro 2. Dados relativos ao bloco de concreto feito com bambu.

Intervalo	Tempo [min]	Experimental	$T(t) = 6.0221 \cdot e^{-0,0372t} + 29$
		Temperatura [°C]	Temperatura [°C]
1	5	34,0	33,99
2	11	33,0	32,99
3	17	33,0	32,20
4	23	32,0	31,56
5	29	31,0	31,05

Fonte: elaborado pelos autores do artigo.

Conforme os quadros, verificou-se que as variações de temperatura em ambos os casos apresentaram comportamento semelhante referente a modelagem da equação de forma que esta esteja em concordância com a Lei em questão e forneça resultados satisfatórios quando relacionados com as medidas obtidas experimentalmente.

Com a equação de cada bloco modelada, foi possível estimar quanto tempo cada uma levará para retornar à temperatura do momento do ensaio, considerando as condições do ambiente. Para isso, utilizou-se um valor de temperatura $T(t)$ muito próximo do valor da temperatura ambiente T_m de cada ensaio. O (**Quadro 3**) explicita os resultados atingidos.

Quadro 3. Tempo de retorno à temperatura ambiente.

Tipo	Equação	$T(t)$ [°C]	T_m [°C]	t_{amb}
Bloco Cerâmico	$T(t) = 10.1649 \cdot e^{-0,0479t} + 29$	29,1	29,0	1 hora e 36 min

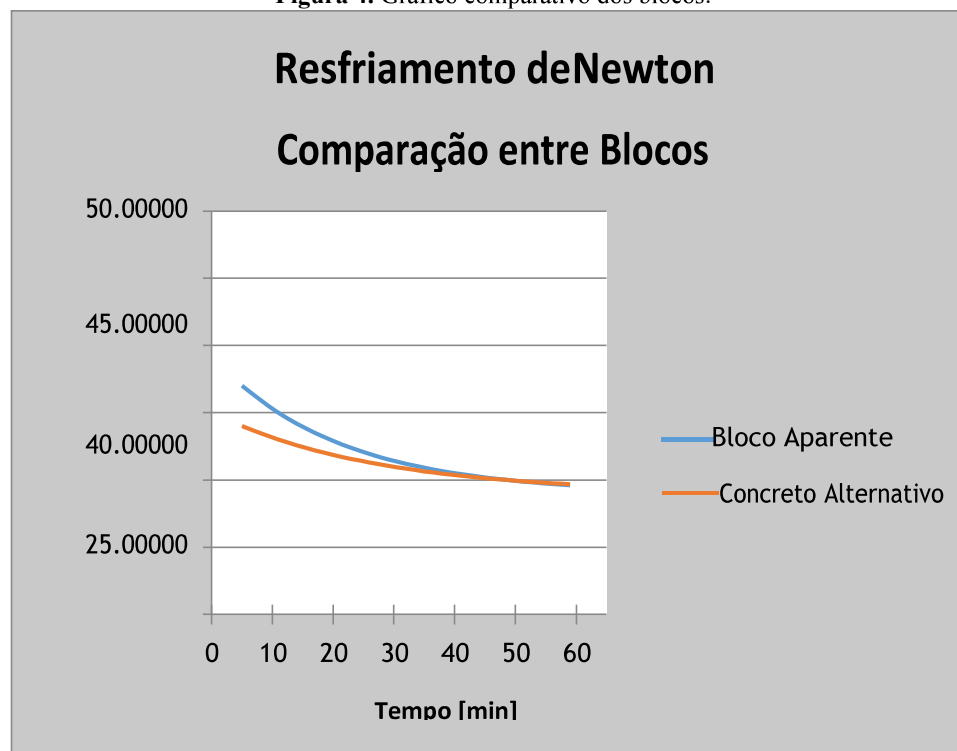
Bloco de Concreto Com Bambu	$T(t) = 6.0221 \cdot e^{-0.0372t} + 29$	29,1	29,0	1 hora e 50 min
-----------------------------	---	------	------	-----------------

Fonte: elaborado pelos autores do artigo.

Desta forma, foi verificado que os blocos cerâmicos são os que levam menos tempo para retornar à temperatura ambiente e, como era esperado, os blocos de concreto feitos com material alternativo retêm mais calor e demoram mais tempo para resfriar. Com isso, pode-se inferir que existe indícios de que o bloco de bambu seja melhor isolador térmico, uma vez que, o bambu apresenta características similares a madeira e sua condutividade térmica pode variar de 0,12 a 0,04 W/m.K, valores relativamente baixos quando comparados ao blocos cerâmicos tradicionais (condutividade térmica: 0,6 - 0,7 W/m.K).

O gráfico (**Figura 4**), a seguir, enfatiza os resultados do (**Quadro 3**), mostrando que a perda de calor do bloco cerâmico é mais rápida que o bloco de concreto feito com bambu e nesse sentido, a curva do bloco alternativo decaí mais lentamente até atingir a temperatura ambiente.

Figura 4. Gráfico comparativo dos blocos.



Fonte: elaborado pelos autores do artigo.

Baseado nos dados e resultados coletados ao longo da etapa experimental, foi possível a realização do cálculo do desvio estatístico entre os valores das temperaturas encontradas no laboratório e encontradas através das equações diferenciais, por meio da (Eq. 3).

$$\Delta_{\%} = \left| \left(\frac{T_{lab} - T_{edo}}{T_{lab}} \right) \cdot 100 \right| \quad (3)$$

Cujos valores de T_{lab} e T_{edo} correspondem às temperaturas aferidas no laboratório e através do cálculo das equações diferenciais, respectivamente. E conferem-se no **quadro 4**.

Quadro 4. Tempo de retorno à temperatura ambiente

	Blocos Cerâmicos [%]	Blocos de Concreto com Bambu [%]
	0,02703	0,02941
	0,00000	0,03030
	4,68750	2,42424
	7,93333	1,37500
	5,10000	0,16129
Média	3,54957	0,80405

Fonte: elaborado pelos autores do artigo.

Em média, os desvios encontrados entre os resultados experimentais para as temperaturas em análise apresentaram valores abaixo de 3,6%, os quais representam uma baixa diferença percentual, evidenciando a eficiência e validade na utilização das equações diferenciais no experimento.

Entretanto, a presença de um desvio, por menor que seja, traz consigo a análise de possíveis erros identificados durante o processo experimental, como erros sistemáticos, por conta de falhas dos instrumentos de medidas tais como na medida da temperatura pela estufa ou no termômetro, bem como nas condições ambientais de realização do experimento e falhas de observação; e, além disso, erros grosseiros devido à falta de atenção na observação de algum dado.

No que se refere a redução dos impactos ambientais, contata-se que a substituição da brita pelo bambu picotado pode trazer diversos benefícios por diversas razões. De acordo Américo (2009), o bambu é um material natural renovável e com alta taxa de crescimento, podendo crescer cerca de 21cm por dia e chegando a sua altura máxima em até 6 meses. Possui uma facilidade em se propagar em diversos tipos de solos e por conta de ser uma gramínea, possui alta capacidade na redução de dióxido de carbono na atmosfera. Por esses fatores o bambu pode ser uma opção com alto potencial como meio alternativo de reflorestamento. A utilização do bambu como meio de reflorestamento permite também uma forma de garantir a demanda de mercado da construção civil e outras áreas que utilizam o bambu como matéria prima, tudo isso em um curto período e com baixos impactos ambientais

A partir da análise dos quadros acima, é possível inferir que o resfriamento dos blocos cerâmicos depende das condições ambientais, do material do bloco e de seu revestimento, além disso, consideram-

se satisfatórios os resultados obtidos por meio dos métodos experimentais, uma vez que o desvio calculado entre os dados e as equações está dentro dos valores aceitáveis pela estatística que é de até 10%, validando, assim, o estudo e comprovando a utilidade da equação diferencial para Lei do Resfriamento de Newton.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo pretende contribuir no setor da construção civil, uma vez que os resultados obtidos poderiam ser manipulados para utilização em situações reais que objetivam um eficiente dimensionamento do arejamento no interior de residências, contribuindo para um menor gasto energético com climatizadores e afins. Dessa maneira, os dados observados poderiam auxiliar em projetos nos quais se deseja atender as exigências de conforto térmico, já que os resultados definem o material ou revestimento que melhor atente a requisitos de maior ou menor perda de calor. Isso pode ser exemplificado por meio da análise da bloco feito com material alternativo, haja vista, como mostrado anteriormente, possui uma tendência a ser melhor isolante térmico comparado ao bloco de alvenaria convencional.

Sugere-se que estudos futuros sejam elaborados nesse segmento para que possam ser ampliados e repensados as discussões referentes a temática e ensaios não só da análise de resfriamento, mas da questão de viabilidade econômica e estrutural do material alternativo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **15.270**: Componentes Cerâmicos. 2005. 15 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sheyqueiroz/nbr-15270105-componentes-cermicos-parte-1-blocos-cermicos-para-alvenaria-de-vedacao-terminologia-e-requisitos>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

AMÉRICO, L. **Eco-Design e a utilização de materiais alternativos renováveis: o Bambu e sua inter-relação com o design**. Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável (II SBDS), Rede Brasil de Design Sustentável – RBDS, São Paulo, 2009.

BACCI, Denise de La Corte; LANDIN, Paulo Milton Barbosa ; ESTON, Sérgio Médici de. **Aspectos e impactos ambientais de pedra em área urbana**. scielo. Ouro Preto, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000100007>. Acesso em: 2 ago. 2018.

BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C. **Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

KULA, Daniel. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. São Paulo: Senac, v. 1, 2012. 344 p.

SODRÉ, Ulysses. **Equações Diferenciais Ordinárias: Notas de aulas**, 2003. 60 p. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgcrUAG/ulysses-sodre-equacoes-diferenciais-ordinarias>>. Acesso em: 23 Julho de 2018

VALVERDE, F. M. **Agregados para a Construção Civil**. Balanço Mineral Brasileiro, 2001. DNPM.



Sustentabilidade Urbana

14ª Jornada Urbenere e 2ª Jornada Cires



ZILL, D. G. **Equações diferenciais com aplicações em modelagem.** 9 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011