



Maria Júlia Cristofolletti de Souza

**ANÁLISE EXERGÉTICA DE UM CORAÇÃO: APLICAÇÕES A  
CORAÇÕES SUJEITOS À DOENÇA DE CHAGAS**

Resumo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Keutenedjian Mady

Faculdade de Engenharia Mecânica

Campinas  
2020

## INTRODUÇÃO

A termodinâmica é fundamental para o entendimento de todas as transformações energéticas e seu uso na análise de processos biológicos é uma área promissora para uma nova compreensão da vida e do envelhecimento. O trabalho em questão teve como objetivo analisar os processos que ocorrem no coração humano por uma visão energética e exergetica e, através disso, investigar o que acontece quando este mesmo coração saudável é submetido à uma condição de Doença de Chagas.

## METODOLOGIA

Ao se estudar a energia e suas transformações, questiona-se a cambialidade e qualidade desses processos para além da conservação de energia. Para uma melhor análise se utiliza um importante conceito chamado de exergia, através desse é possível estudar o calor e o trabalho de um processo em termos de ‘poder útil’, ou seja, uma outra perspectiva sobre perdas e eficiência dessas transformações energéticas.

O conceito de exergia surge na necessidade de complementar a Primeira Lei da Termodinâmica, ao observar que todos os processos reais apresentam uma perda de energia que não pode ser contemplada pelo princípio da conservação de energia para todos os processos. Assim, tendo em vista a Primeira Lei que considera calor, trabalho e uma energia associada aos fluxos de entrada e saída:

$$\frac{dE_{VC}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + gz_e + \frac{V_e^2}{2} \right) - \sum_s \dot{m}_s \left( h_s + gz_s + \frac{V_s^2}{2} \right) + \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} \quad (1)$$

Pode-se elaborar uma Segunda Lei que não apenas considera os efeitos exergeticos dos fluxos, mas também o quando o calor e o trabalho conseguem realmente agir sobre o meio considerando uma perda chamada de exergia destruída,  $\dot{B}_d$ , que quantifica a exergia não utilizada durante o processo.

$$\frac{dB_{VC}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e \left( b_e + gz_e + \frac{V_e^2}{2} \right) - \sum_s \dot{m}_s \left( b_s + gz_s + \frac{V_s^2}{2} \right) + \sum_k \dot{Q}_k \left( 1 - \frac{T_0}{T_k} \right) - \dot{W}_{VC} - \dot{B}_d \quad (2)$$

O coração pode ser modelado por meio dessa visão termodinâmica. Sendo o mais importante órgão do sistema cardiovascular, ele é responsável por impulsionar o sangue e seus nutrientes para todo o corpo, irrigando órgãos e tecidos. O comportamento do coração é muitas vezes comparado ao de uma bomba, pois gera-se uma pressão elevada responsável por movimentar o sangue, levando a uma reflexão sobre o valor energético dos processos que ocorrem durante o bombeamento.

Na figura 1 há uma representação do coração com seus principais componentes. A figura 2 mostra o ciclo cardíaco em uma curva de pressão e volume que é base para a obtenção dos principais parâmetros de modelagem do coração.

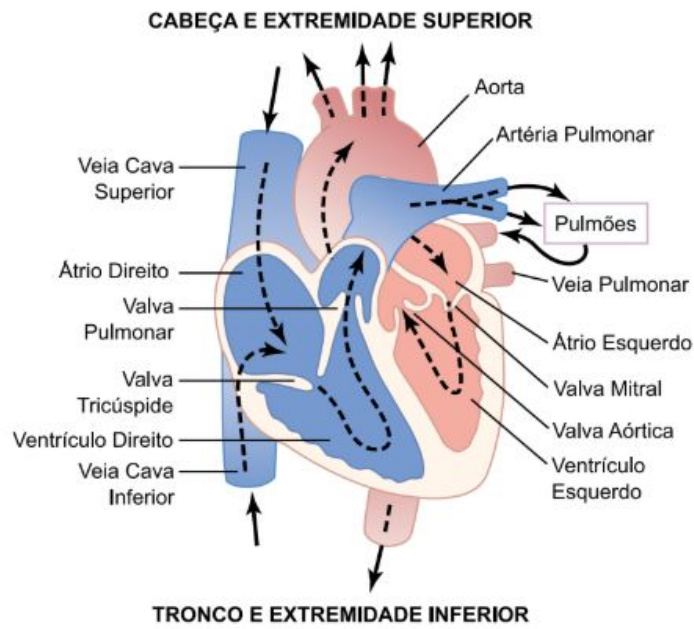


Figura 1. Representação do coração humano

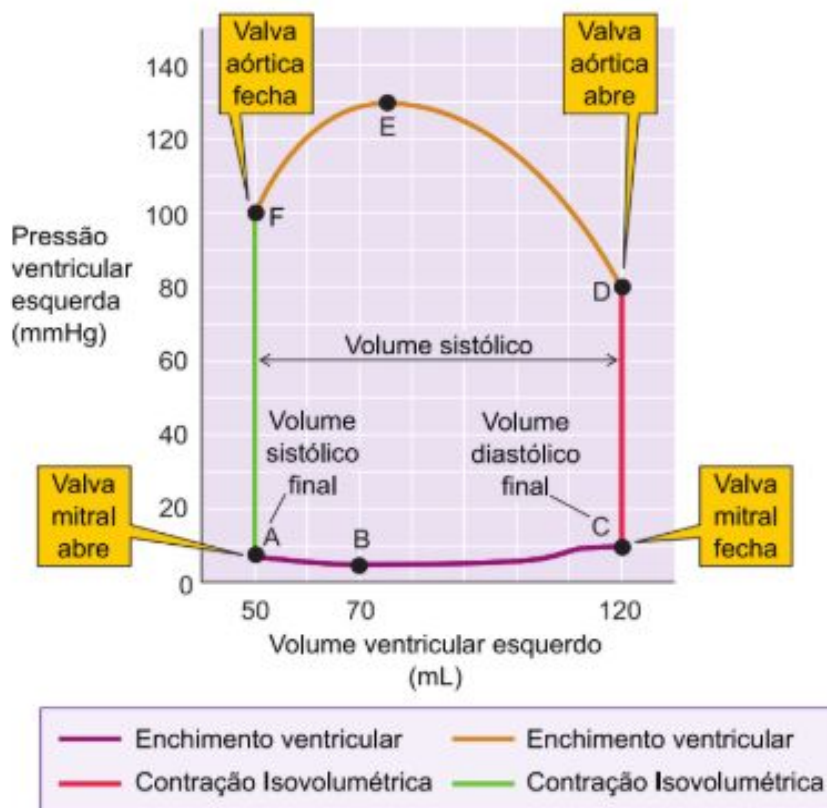


Figura 2. Diagrama pressão-volume do ventrículo esquerdo

A modelagem do coração realizada aqui utilizou conceitos estudados dentro da termodinâmica, da mecânica dos fluidos e da transferência de calor, de forma a ser possível enxergar a contribuição energética das válvulas, vasos sanguíneos, tecidos e músculos para se obter o valor do trabalho do coração, mas também para se aplicar o conceito de exergia e, assim, entender quais são os maiores pontos de perda no bombeamento do sangue.

A exergia destruída obtida através da modelagem é exposta na equação 3, onde pode-se observar os principais efeitos que são considerados ao se realizar a análise exérgica.

$$\dot{B}_{d, \text{coração}} = \sum \dot{B}_{d, \text{válvula}} + \dot{B}_{m, \text{coração}} + \dot{B}_{QM} - \dot{W}_{\text{coração}} + \Delta \dot{B}_{\text{sangue}} + \dot{B}_{d, fr} \quad (3)$$

Sabendo disso, é possível aplicar tais ferramentas em corações não saudáveis e, assim, encontrar valores exérgicos associados aos problemas físicos relacionados às doenças. Aqui, o objetivo foi a análise exérgica de um coração com Doença de Chagas, uma infecção que apresenta uma forma cardíaca que faz com que tais pacientes apresentem maior probabilidade de morte súbita e muitos problemas cardíacos causados pela presença da doença.

O principal parâmetro para a análise dos resultados foi a eficiência que foi obtida de duas formas, representadas nas equações 4 e 5.

$$\eta_1 = \frac{\dot{W}_{\text{coração}}}{\dot{B}_{m, \text{coração}}} \quad (4)$$

$$\eta_2 = \frac{\Delta \dot{B}_{\text{sangue}}}{\dot{B}_{m, \text{coração}}} \quad (5)$$

## RESULTADOS E CONCLUSÃO

Aplicando-se o modelo, foi possível comparar exergeticamente os pontos em que um coração chagásico apresenta distúrbios em relação a um coração saudável. De forma que, todos os aspectos físicos da doença que levam a alteração não apenas de forma e de tamanho, mas também de pressão exercida por um coração chagásico, relacionaram-se a uma diminuição da eficiência exérgica desse coração em relação ao saudável.

A tabela 1 apresenta os resultados para a modelagem de um coração saudável, enquanto a tabela 2, mostra os resultados do mesmo modelo aplicado a condições de Doença de Chagas.

Tabela 1. Resultados para indivíduo saudável ( $W$ )

$\dot{W}_{\text{coração}}$	1,605
$\dot{M}_{\text{coração}}$	11,59
$\dot{Q}_{M_{\text{coração}}}$	9,981
$\dot{B}_{M_{\text{coração}}}$	10,72
$\dot{B}_{Q_{M, \text{coração}}}$	0,3864
$\Delta B_s$	-0,6778
$\dot{B}_{d,fr}$	1,117
$\dot{B}_{d,válvula}$	1,942
$\dot{B}_{d,coração}$	8,821
$\eta_1$	14,98 %
$\eta_2$	6,323 %

Tabela 3. Resultados para indivíduo com Chagas ( $W$ )

$\dot{W}_{\text{coração}}$	1,228
$\dot{M}_{\text{coração}}$	11,53
$\dot{Q}_{M_{\text{coração}}}$	10,3
$\dot{B}_{M_{\text{coração}}}$	10,67
$\dot{B}_{Q_{M, \text{coração}}}$	0,3989
$\Delta B_s$	-0,3129
$\dot{B}_{d,fr}$	1,117
$\dot{B}_{d,válvula}$	2,022
$\dot{B}_{d,coração}$	9,521
$\eta_1$	11,51 %
$\eta_2$	2,934 %

É visto um aumento da exergia destruída, ou seja, uma diminuição do ‘poder útil’ do coração quando este apresenta a condição de Doença de Chagas cardíaca, consequência direta das alterações que esta causa, principalmente, no músculo cardíaco. Assim, pode-se dizer que, o coração se torna menos eficiente nas transformações de energia visto que as ‘perdas’, aqui relacionadas à exergia destruída, aumentam.

Os resultados também levam a uma implicação do modelo utilizado, visto que este se baseia completamente na curva pressão-volume do coração e no batimento cardíaco, porém, sabe-se que muito mais do que isso é alterado em um coração com a condição chagásica, condições estas que acabam não sendo aplicadas no modelo sugerido.

Tal resultado mostra a boa aplicabilidade do modelo termodinâmico do coração aqui utilizado e também um resultado importante em termos de utilização de conceitos usualmente utilizados em áreas de pesquisa energética de processos, para dentro da biomecânica.