

EQUAÇÕES DE LORENZ E CONVECÇÃO ATMOSFÉRICA

RONALDO MATIAS TAVARES JUNIOR¹; VINICIUS CARVALHO BECK²

¹IFSUL Campus Pelotas - Visconde da Graça – ronaldomtjr@gmail.com

²IFSUL Campus Pelotas - Visconde da Graça – viniciuscavg@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Através da Mecânica de Fluidos, LORENZ (1963) desenvolveu um sistema simplificado de equações diferenciais não lineares com o intuito de representar os movimentos de convecção atmosférica. Tal sistema é composto pelas seguintes equações: (eq.1) $X' = -\sigma X + \sigma Y$; (eq.2) $Y' = -XZ + rX - Y$; (eq.3) $Z' = XY - bZ$, sendo $\sigma=10$; $b=8/3$ e $r=28$ (número de Rayleigh para o sistema terra-atmosfera).

Segundo CAMPOS (2015), x representa o fluxo convectivo. HÄRTER *et al.* (2015) e SANTANA (2005) também afirmam que esta grandeza é proporcional à intensidade do movimento convectivo, e ainda, MONTEIRO (2004) aponta que a circulação horária e anti-horária são determinadas pelos sinais positivo e negativo, respectivamente.

A variável y está relacionada com a distribuição de temperaturas horizontalmente (CAMPOS, 2015). MONTEIRO (2004), HÄRTER *et al.* (2015) e SANTANA (2005) afirmam que y é proporcional à diferença de temperatura entre as correntes ascendente e subsidente, sendo que, se x e y estão com sinais iguais, significa que a parte quente do fluido está subindo e a fria descendo.

A variável z representa a distribuição de temperaturas na vertical (CAMPOS, 2015). HÄRTER *et al.* (2015) e SANTANA (2005) afirmam que z é proporcional à distorção das linearidades do perfil de temperatura vertical. Possuindo valor positivo significa que ocorrem fortes gradientes perto das camadas limites. MONTEIRO (2004) complementa que, para $z=0$ ocorre decrescimento linear, segundo a expressão matemática dada por $T=T_1+\Delta T(z/H)$.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise termodinâmica do sistema convectivo atmosférico simplificado descrito pelas equações de Lorenz, através de simulações computacionais.

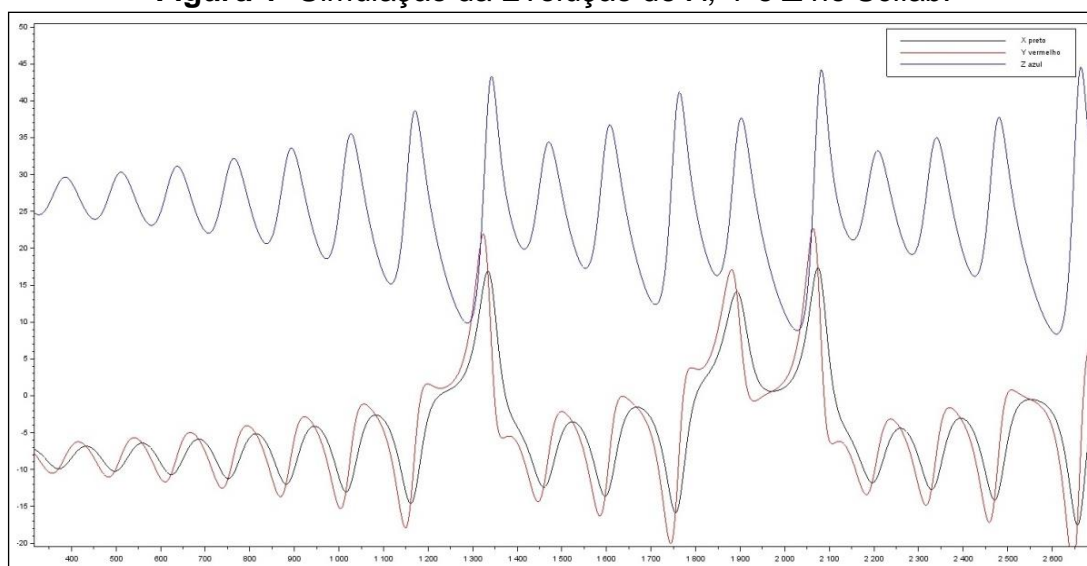
2. METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica a partir de trabalhos encontrados na literatura abordando o modelo convectivo de Lorenz. Em seguida, foi realizada uma simulação computacional através de um código implementado no *software* Scilab (2019), partindo-se da condição inicial $X=Y=Z=1$.

A partir da simulação computacional foi realizada uma análise termodinâmica, na qual experimentamos três situações: X e Y positivos, com valor de Z baixo; X e Y negativos, com valor de Z alto; X e Y com sinais opostos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão da análise dos resultados, deve-se ter em mente que para valores de sinais iguais de X e Y obtém-se um ciclo convectivo em que o fluido quente sobe e o frio desce, no sentido horário se X for positivo, e no sentido anti-horário se X for negativo. Analisou-se as três variáveis nas iterações 1370, 1764 e 2045 para fins de avaliar a situação termodinâmica em cada um dos casos, nos três instantes de tempo.

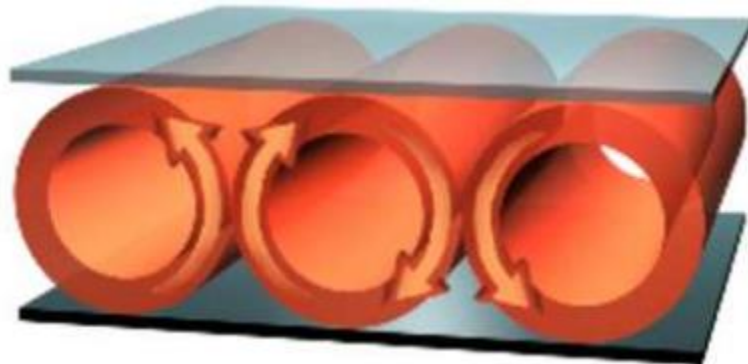
Figura 1- Simulação da Evolução de X, Y e Z no Scilab.

Fonte: Simulação de autoria própria realizada no Scilab (2019).

Obteve-se na iteração 1370: $X = 1,05$; $Y = -5,71$; $Z = 29,15$. Observa-se que neste caso temos sinais opostos de X e Y, o que não deixa indício de movimento convectivo. De acordo com a Figura 1, a maioria dos casos em que os sinais apresentam-se contrários, os valores de X e Y estão muito próximos de zero. De acordo com o valor obtido em Z, a variação do perfil vertical de temperatura está dentro da normalidade.

Na iteração 1764 obteve-se: $X = -14,28$; $Y = -6,82$; $Z = 41,16$. De acordo com os valores de X e Y, é possível inferir que o movimento convectivo acontece no sentido anti-horário, com intensidade baixa. Neste caso, o valor obtido de Z mostra que há um alto grau de variação do perfil vertical de temperatura entre as camadas, desta forma, afastando-se da linearidade.

Na iteração 2045 obteve-se: $X = 7,58$; $Y = 14,26$; $Z = 11,34$. De acordo com os valores de X e Y, verifica-se que o movimento convectivo estabelece-se no sentido horário e com baixa intensidade. Pelo valor relativamente baixo de Z a variação do perfil vertical está mais próxima da linearidade.

Figura 2- Modelo do movimento convectivo das camadas.

Fonte: Adaptado de Viana (2019).

É possível verificar, através das análises realizadas, que X e Y têm uma evolução em relação ao tempo de forma que ambos mantêm-se com descrições físicas e valores aproximados. Para tentarmos compreender o que não é explicado na literatura, como os casos em que os sinais de X e Y são contrários,

podemos destacar que é notável a ocorrência de valores baixos para ambas variáveis nestas situações, o que nos leva a compreender que para estes casos não há movimento convectivo, ou a intensidade do mesmo é muito baixa, talvez irrelevante.

Para melhor compreensão da variável Z , nota-se que ela não acompanha numericamente a escala de valores de X e Y . Entende-se que esta variável representa a variação do perfil vertical da temperatura de cada camada, podendo variar mais linearmente ou apresentando comportamento não linear.

4. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração que as variáveis X , Y e Z , representam a intensidade convectiva, a diferença de temperatura entre as camadas e o perfil vertical da temperatura, respectivamente, diante das análises realizadas neste trabalho, entende-se que o evento em que X e Y possuem sinais contrários nos dá como possibilidade, o movimento convectivo ser muito fraco ou nulo. Quando possuem sinais iguais, há um favorecimento das condições de ocorrência de fluxo convectivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. G.; SILVA, C. G.; KALHIL, J. B. Transposição didática do Sistema de Lorenz via simulação computacional. **Lat. Am. J. Phys. Educ.**, v.9, n.1, p. 1502.1-1502.13, mar. 2015.

HÄRTER, F. P.; YAMASAKI, Y.; BECK, V. C. Assimilação de Dados via Método 3D-Var em Dinâmica Caótica do Modelo de Lorenz. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v.38, n.1, p.73-80, 2015.

LORENZ, E. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.20, n.2, p. 130–141, 1963.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos**. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

SANTANA, T. L. V.; TERRA, M. O. Osciladores não-lineares e caóticos e aplicações. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA, 11. **Anais do XI ENCITA**. São José dos Campos - SP: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.

SCILAB ENTERPRISES. 2015. **Scilab**. Disponível em: <<http://www.scilab.org/>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

VIANA, M. **Atratores estranhos de Lorenz**. IMPA, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://w3.impa.br/~viana/out/acl.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2019.