

6<sup>th</sup> International Workshop - Advances in Cleaner Production

São Paulo - Brazil - 24<sup>th</sup> to 26<sup>th</sup>, May - 2017

# Proposta de um índice de robustez para a contabilidade ambiental em emergia

BUENO, M.F.F.  
UNIP – SP  
IFSULDEMINAS – MG

Academic Work

## Introdução

- A robustez é uma medida de sua capacidade em permanecer inalterada por pequenas mudanças voluntárias nas condições experimentais, a fim de verificar como e se os resultados do método são afetados (ICH, 2005).
- Os testes de robustez são importantes porque, às vezes, é necessário modificar um ou mais parâmetros de um procedimento sem que a precisão do método seja afetada.
- A robustez normalmente é investigada durante o desenvolvimento e otimização do método.

## Introdução

- O principal objetivo de qualquer estudo de robustez é identificar as principais variáveis ou fatores que influenciam o resultado ou a resposta.
- Entre os mecanismos existentes para avaliar a robustez, está o diagrama ternário em energia que é capaz de revelar graficamente a região experimental onde imprecisões introduzidas pelo analista tem influência considerável sobre os resultados (Giannetti et al, 2006; Almeida et al, 2007).

## Introdução

- O analista desempenha um papel importante e tem forte influência ao lidar com a incerteza resultante de dados incompletos, limitações de precisão de medição ou informações disponíveis, extrapolações e interpolações, abordagens de alocação e outros (Giannetti et al, 2013).
- Além disso, em processos sob controle humano, um mesmo fluxo de energia ou produto pode ser obtido a partir de processos distintos (Ulgiati et al, 1995).

## Introdução

- O diagrama ternário em energia é uma ferramenta capaz de apresentar as proporções do uso de recursos em cada sistema e possibilita averiguar a robustez da metodologia em um sistema de produção.
- A metodologia em energia é robusta? Como ela pode ser avaliada? Quais critérios devem ser seguidos em uma avaliação de energia?

## Objetivo

- Assim, o objetivo do artigo é propor uma equação capaz de confirmar a robustez da contabilidade ambiental em emergia, a fim de estabelecer parâmetros para a avaliação e identificar fatores que possam afetar o resultado do método.

## Métodos

### *Contabilidade ambiental em energia*

- A energia solar é definida como a energia solar disponível, previamente utilizada, direta e indiretamente, para produzir um produto ou serviço (Odum, 1996).
- A contabilidade ambiental é capaz de identificar e mensurar todas as entradas de um sistema, transformando entradas de unidades distintas em uma unidade comum (sej – joule de energia solar (Odum, 1996).

## Métodos

### *Índice de robustez (IR)*

- O índice de robustez (IR) é uma proposta para assegurar que as avaliações de energia realizadas são suficientes e representativas, levando a uma padronização da metodologia. Deve-se considerar realmente os fluxos que fazem diferença no resultado e que geram os valores finais de energia.



## Métodos

- Equação proposta para se encontrar a robustez da metodologia em emergia.

$$IR = 1 - \frac{1}{n} \left\{ \sum \left[ \left( \sum_{i=1}^n |dr| \right); \left( \sum_{i=1}^n |dn| \right); \left( \sum_{i=1}^n |df| \right) \right] \right\}$$

## Métodos

Tabela 1. Interpretação do índice de robustez.

IR	Percentual	Interpretação	Descrição
$[-0,33; -0,20[$	$[0,0; 0,1[$	Robustez muito fraca	Existe erro de valores ou os sistemas são muito diferentes.
$[-0,20; 0,20[$	$[0,1; 0,4[$	Robustez fraca	Os sistemas são distintos ou utilizam fluxos de entrada diferentes (escassez de recursos).
$[0,20; 0,60[$	$[0,4; 0,7[$	Robustez moderada	Os sistemas são semelhantes, porém, os processos são distintos.
$[0,60; 0,87[$	$[0,7; 0,9[$	Robustez forte	Os produtos e os processos são similares.
$[0,87; 1,00]$	$[0,9; 1,0]$	Robustez muito forte	Os Sistemas são semelhantes e os fluxos que direcionam o sistema são os mesmos.

## Métodos

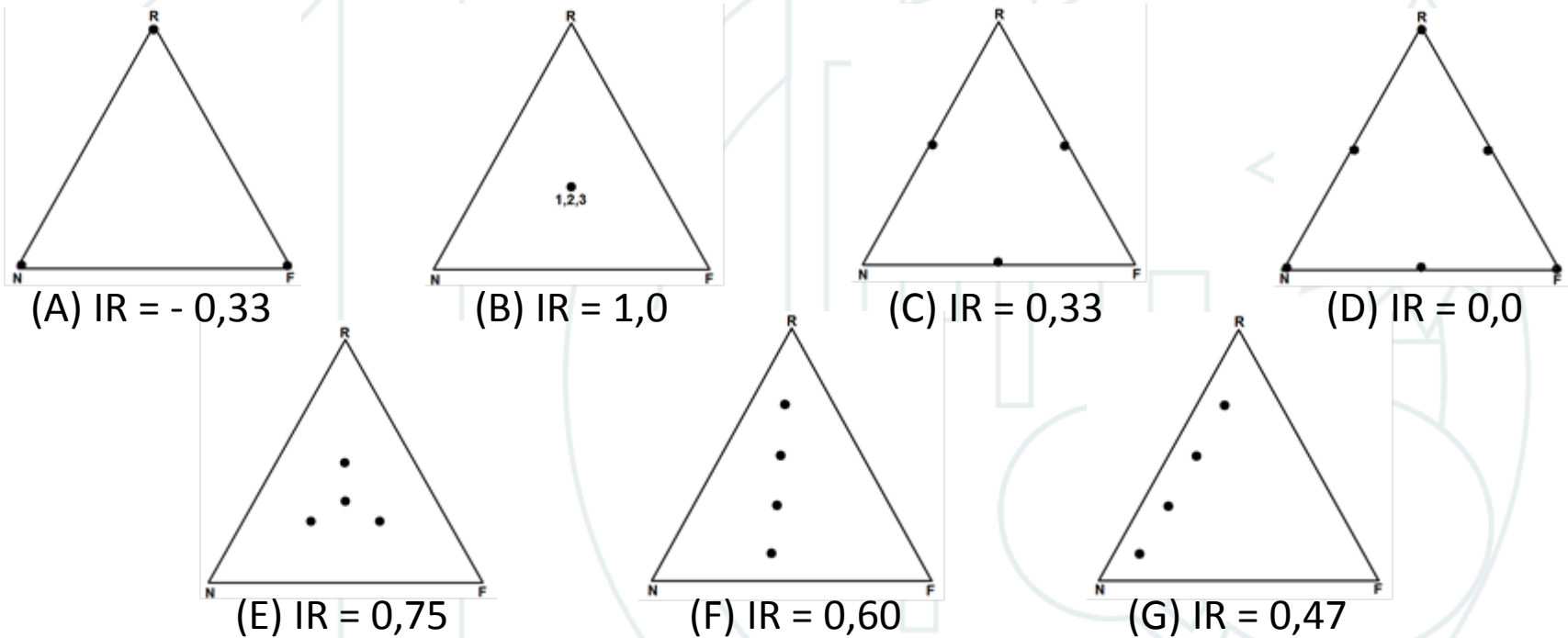


Fig. 1. Diagrama ternário apresentando o índice de robustez de sistemas hipotéticos.

## Resultados

Tabela 2. Dados de eletricidade produzida a partir de recursos não renováveis.

Item	R	N	F	Em	Ri	Ni	Fi	dr	dn	df
1 Carvão	1,29E+20	9,40E+21	9,07E+19	9,62E+21	0,01	0,98	0,01	0,03	0,15	0,11
2 Carvão	0,00E+00	6,38E+14	1,70E+14	8,08E+14	0,00	0,79	0,21	0,04	0,04	0,09
3 Carvão	6,18E+20	5,12E+21	8,95E+20	6,64E+21	0,09	0,77	0,13	0,05	0,06	0,01
4 Linhita	0,00E+00	4,69E+14	1,24E+14	5,93E+14	0,00	0,79	0,21	0,04	0,04	0,09
5 Linhita	0,00E+00	5,54E+21	2,02E+20	5,75E+21	0,00	0,96	0,04	0,04	0,13	0,09
6 Metano	4,57E+19	4,50E+20	5,51E+19	5,51E+20	0,08	0,82	0,10	0,04	0,01	0,02
7 Petróleo	0,00E+00	6,75E+14	1,36E+14	8,11E+14	0,00	0,83	0,17	0,04	0,00	0,04
8 Petróleo	5,24E+20	5,58E+21	1,38E+21	7,48E+21	0,07	0,75	0,18	0,03	0,09	0,06
9 Petróleo	2,34E+22	1,30E+23	9,88E+21	1,63E+23	0,14	0,80	0,06	0,10	0,04	0,06
10 Média					0,04	0,83	0,12			
11 Soma								0,42	0,56	0,58

Ref.: 1. Wang et al, 2005; 2, 4, 5, 7. Brown et al, 1995; 3, 6, 8. Brown e Ulgiati, 2002; 9. Brown et al, 2012

## Resultados

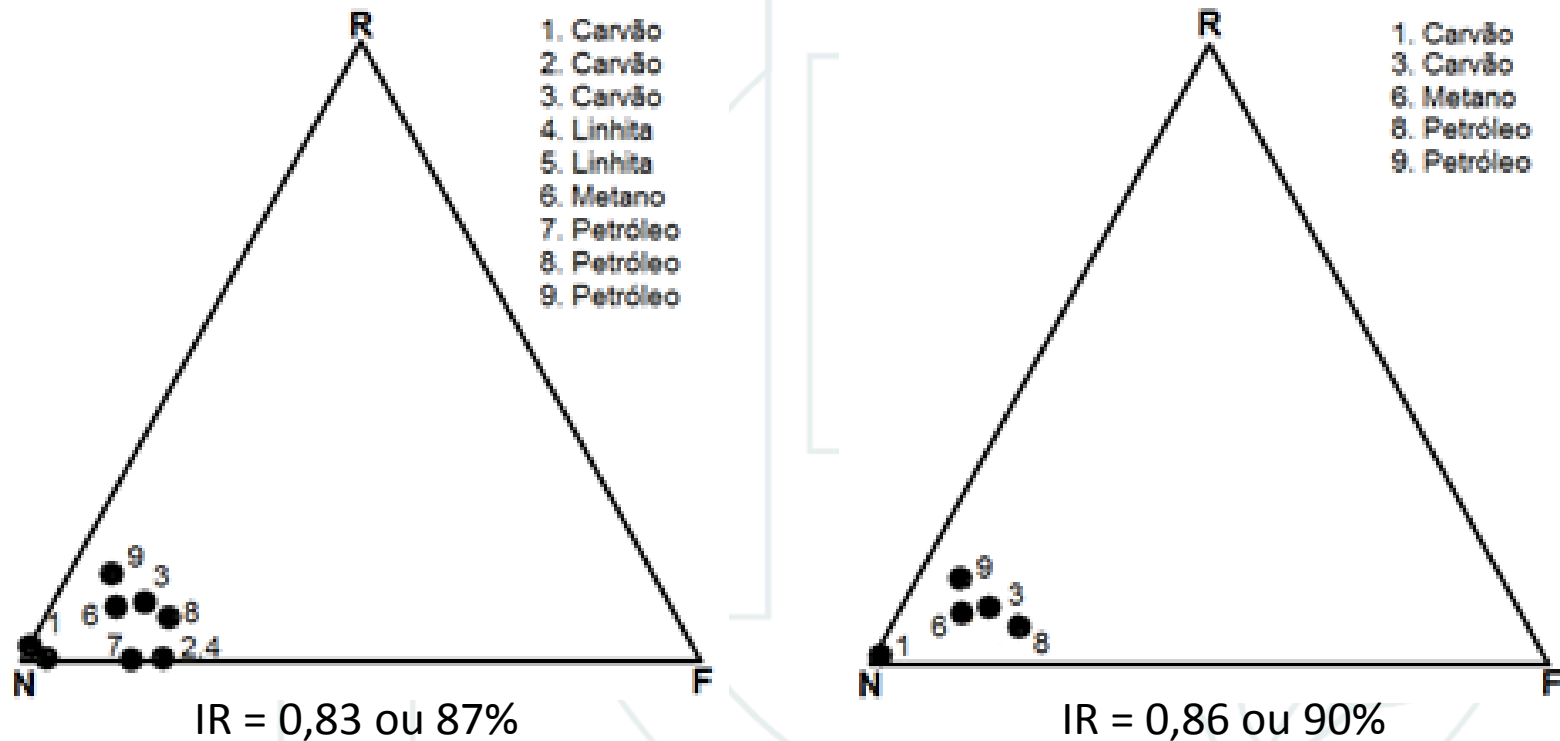


Fig. 2. Diagrama ternário da eletricidade produzida a partir de recursos não renováveis.

$$IR = 1 - \frac{1}{9} \{ \sum (0,42; 0,56; 0,58) \} = 0,83 (0,87)$$

## Resultados

Tabela 3. Dados da produção.

Nota	Item	R	N	F	Em	Ri	Ni	Fi	dr	dn	df
1	Jacaré	8,90E+14	0,00E+00	9,10E+17	9,11E+17	0,00	0,00	1,00	0,18	0,00	0,18
2	Frango	2,66E+15	5,40E+13	6,50E+15	9,22E+15	0,29	0,01	0,71	0,11	0,00	0,11
3	Frango	1,16E+16	4,81E+14	6,03E+16	7,24E+16	0,16	0,01	0,83	0,02	0,00	0,01
4	Tilápia	4,13E+15	0,00E+00	9,05E+16	9,46E+16	0,04	0,00	0,96	0,13	0,00	0,14
5	Tilápia	2,05E+15	0,00E+00	1,80E+17	1,82E+17	0,01	0,00	0,99	0,17	0,00	0,17
6	Camarão	8,25E+20	0,00E+00	1,80E+21	2,63E+21	0,31	0,00	0,69	0,14	0,00	0,13
7	Camarão	8,25E+20	0,00E+00	1,11E+21	1,93E+21	0,43	0,00	0,57	0,25	0,00	0,25
	Média					0,18	0,00	0,82			
	Soma								0,99	0,02	0,99

Ref.: 1. Brandt-Williams, 2002; 2, 3. Castellini et al, 2006; 4. Brown et al, 1992; 5. Garcia et al, 2014; 6, 7. Odum e Arding, 1991.

## Resultados

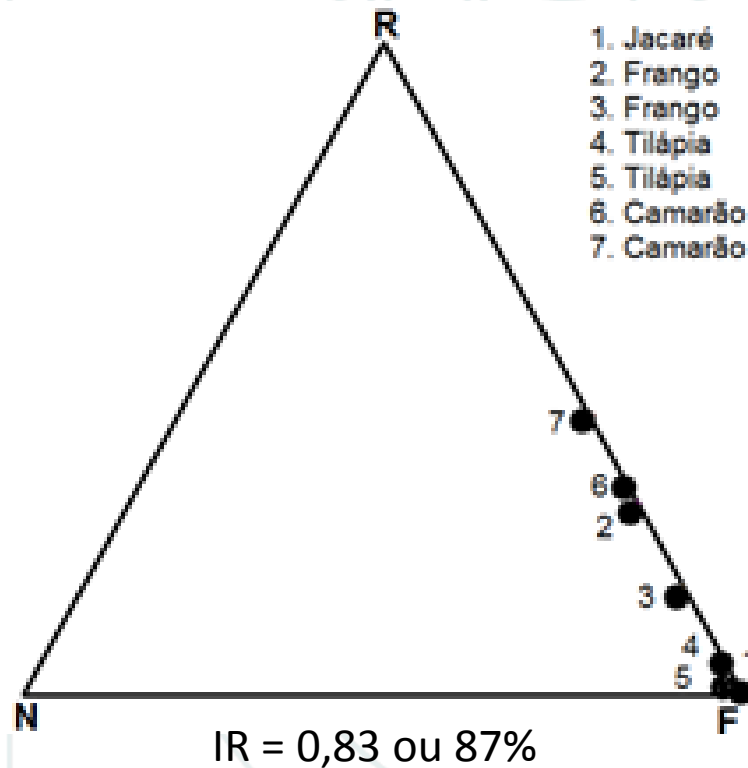


Fig. 3. Diagrama ternário em energia de sistemas pecuários.

$$IR = 1 - \frac{1}{9} \{ \sum (0,99; 0,02; 0,99) \} = 0,71 (0,79)$$

## Considerações finais

- A metodologia não possui uma padronização para seus procedimentos de avaliação.
- O analista tem a liberdade de tomar muitas decisões, não há um modelo a ser seguido, porém, é imprescindível conhecer os fatores que influenciam uma resposta, definir intervalos a ser utilizados, o número de experimentos onde os valores não mudam.



## Considerações finais

- Metodologia em energia é robusta, mesmo com as diferenças no processo de produção.
- A equação foi capaz de avaliar a robustez da metodologia em energia e possibilitou a sua representação gráfica com a aplicação do diagrama ternário em energia.

## Referências bibliográficas

- Almeida, C.M.V.B, Barrella, F.A., Giannetti, B.F., 2007. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production*. 15, 63-74.
- Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #4. Emergy of Florida agriculture. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida.
- Brown, M.T., Green, T.P., Gonzalez, A., Venegas, J., 1992. Emergy analysis perspectives, public policy option, and development guidelines for the Coastal Zone of Nayarit, Mexico. Center for Wetlands and Water Resources, University of Florida, Gainesville, Florida. v.1, 215 p; v.2, 145 p.
- Brown, M.T., Odum, H.T., McGrane, G., Woithe, R.D., Lopez, S., Bastianoni, S., 1995. Emergy evaluation of energy policies for Florida. Report to the Florida energy office. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*. 10, 321–334.
- Brown, M.T., Raugei, M., Ulgiati, S., 2012. On boundaries and ‘investments’ in emergy synthesis and LCA: a case study on thermal vs. photovoltaic electricity. *Ecological Indicators*. 15, 227-235.
- Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M., 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114: 343-350.

## Referências bibliográficas

- Ferreira, S.L.C., Caires, A.O., Borges, T. da S., Lima, A.M.D.S., Silva, L.O.B., dos Santos, W.N.L., 2017. Robustness evaluation in analytical methods optimized using experimental designs. *Microchemical Journal*. 131, 163–169
- Garcia, F., Kimpara, J.M., Valenti, W.C., Ambrosio, L.A., 2014. Emery assessment of tilapia Cage farming in a hydroelectric reservoir. *Ecological Engineering*. 68: 72-79.
- Giannetti, B.F., Barrella, F.A., Almeida, C.M.V.B., 2006. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emery accounting. *Journal of Cleaner Production*. 14, 201-210.
- Giannetti, B.F., Barrella, F.A., Bonilla, S.H., Almeida, C.M.V.B., 2007. Aplicações do diagrama emergético triangular na tomada de decisão ecoeficiente. *Produção*. 17(2), 246-262.
- Giannetti, B.F., Almeida, C.M.V.B., Agostinho, F., Bonilla, S.H., Ulgiati, S., 2013. Primary evidences on the robustness of environmental accounting from emery. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 1(2), 203-212.
- Hau, J.L., Bakshi, B.R., 2004. Promise and problems of emery analysis. *Ecological Modelling*. 178, 215-225.
- International Conference on Harmonization (ICH) Guideline, 2005. Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2 (R1). 2005, 17p. [http://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q2\\_R1/Step4/Q2\\_R1\\_Guideline.pdf](http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline.pdf). Acessado em: 20/05/2016.
- Odum, H.T., Arding, J.E., 1991. Emery analysis of shrimp mariculture in Ecuador. Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Working Paper prepared for Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narragansett, RI.

## Referências bibliográficas

- Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision-making. New York: Wiley, 370 p.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S., 2000. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #1. Introduction and global budget. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida. Gainesville.
- Odum, H.T., 2000. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #2. Emergy of global processes. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida. Gainesville.
- Swartz, M.E., Krull, I., 2006. Method Validation and Robustness. LCGC North America. 24(5), 480–490.
- Ulgiati, S., Brown, M.T., Bastianoni, S., Marchettini, N., 1995. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. Ecological Engineering. 5, 519-531.
- U.S. Pharmacopeia, 2008-2010. USP 37, General Information. Chapter 1225, Validation of Compendial Procedures. [http://uspbpep.com/usp31/v31261/usp31nf26s1\\_c1225.asp](http://uspbpep.com/usp31/v31261/usp31nf26s1_c1225.asp). Acessado em 20/02/2016.
- Wang, L., Zhang, J., Ni, W., 2005. Emergy evaluation of Eco-Industrial Park with Power Plant. Ecological Modelling. 189, 233-240.
- Wang, X., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Wu, X., Xiong, J., 2014. Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: an emergy evaluation based on LCA. Journal of Cleaner Production. 65, 234-245.

## Agradecimentos

