



# INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

## Análise Comparativa de Construção de Casas, Utilizando a Contabilidade Ambiental em Emergia

C. S. Carvalho<sup>a</sup>, Y. Ogura<sup>b</sup>, E. Grinover<sup>c</sup>, A. R. P. L. Albuquerque<sup>d</sup>

a. *Universidad Alberto Hurtado, Santiago, [ccarvalho.br@gmail.com](mailto:ccarvalho.br@gmail.com)*

b. *Universidade Paulista, São Paulo, [yoshisuke.ogura@pascaltec.com.br](mailto:yoshisuke.ogura@pascaltec.com.br)*

c. *Grinover Associados Arquitetura Design, São Paulo, [grinover@terra.com.br](mailto:grinover@terra.com.br)*

d. *Universidade Paulista, São Paulo, [albuquerque@unip.br](mailto:albuquerque@unip.br)*

---

### Abstract

We present an application of the methodology of environmental accounting in emergy, comparing the environmental impact generated by a house designed in a timber production system of "exploitation", the second wood of the first use and third, masonry type, from the same architectural project. By using the graphical tool - ternary diagram - , rates the emergy flow and environmental indicators in emergy, in the three models studied. The results showed a favorable trend for the home designed in wood production system of "exploitation", all indicators were higher than the other two cases under study, highlighting the environmental sustainability index of 125 times larger than the house of masonry. This system proved to be less constructive aggressive to the environment, which may allow the adoption of this house as a habitation solution of Vilhena in the state of Roraima, the city adopted as a model for this study.

*Keywords: Environmental sustainability, emergy account, environmental indicators, sustainable constructive system, "exploitation" wood*

---

### 1. Introdução

Segundo Brown e Buranakarn (Brown et al,2003) todos os sistemas são recicláveis. A Biosfera é uma cadeia continua de reciclagem de materiais e informações em ciclos alternados de convergência e divergência. Estes autores descrevem três formas de reciclagem: a primeira delas, alguns materiais se reciclam quando regressam para o meio ambiente através de aterros; a segunda, materiais que são reciclados via processo geológicos por meio de sedimentação da erosão; e a terceira, materiais que são reutilizados no próprio sistema econômico, onde os resíduos voltam para o processo produtivo como matéria prima novamente.

Em muitos casos, não é feito o processo de reciclagem correspondente ao tipo de material e é gerado um desperdício de material, que poderia estar sendo reutilizado como matéria prima na fabricação de outro bem de consumo. Como é o caso das Serrarias, localizadas no norte do Brasil, onde os resíduos de madeira em perfeita condição de reuso são queimados em vez de serem reutilizados.

Com a motivação de encontrar melhor fim para os resíduos gerados pelas serrarias, o arquiteto Enzo Grinover, projetou um sistema construtivo de madeira de "aproveitamento". A madeira é gabaritada, cortada e colada para formar os componentes do sistema construtivo. Este projeto está sendo

financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa (FAPESP) com número de processo 05/558689. Os resíduos do processo de industrialização do sistema construtivo podem ser aplicados na construção de cortinas externas de madeira para proteção dos raios solares. A FAPESP também está financiando este projeto, cujo número de processo é 06/56627-8.

Tais projetos buscam ser um negócio gerador de riqueza, enfatizando diferentes dimensões: filosófica, causal, potencial e econômica. Na dimensão filosófica busca dar abrigo à vida com respeito ao mundo natural. A dimensão causal tem o objetivo de criar condições da humanidade viver com saúde no futuro, reduzir os gases do efeito estufa, além de proporcionar para as pessoas viverem no aconchego da madeira. Já na dimensão potencial procura aproveitar de forma inteligente a árvore e ter uma equipe de trabalho comprometida com o cliente do começo ao fim do projeto. Por último na dimensão econômica pretende ser um comércio justo e ser um tipo de construção que permita diminuir o déficit habitacional existente no Brasil.

Construir com madeira significa estocar e economizar CO<sup>2</sup> e diminuir os gases do efeito estufa, além de reduzir o aquecimento global e preservar a saúde do mundo.

Considerando a importância do uso de materiais recuperados na construção civil, o presente estudo aplicará o método da síntese em eMergia como ferramenta de contabilidade ambiental para calcular o impacto ambiental gerado por uma casa construída de madeira de “aproveitamento” a partir de resíduos de serrarias, a segunda feita a partir de madeira de primeiro uso e uma terceira de alvenaria.

O objetivo é analisar a sustentabilidade da construção de cada uma destas casas, que serão construídas a partir do mesmo projeto arquitetônico, mudando apenas o material de construção. A casa foi dimensionada de modo a permitir o isolamento térmico das paredes e cobertura, proporcionar a ventilação cruzada, evitar a incidência direta do sol no verão, favorecer o sol no inverno e ter um isolamento da umidade do solo.

No estudo da madeira de “aproveitamento” no processo produtivo abrangeu desde a secagem natural da madeira recuperada, passando pela estufa solar até a madeira ser aparelhada e gabaritada para seu uso.

A bibliografia existente de temas relacionados ao abordado no presente trabalho não é muito vasta. O estudo *“Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options”* (Brown, M.T., Burabakarn V. 2003) analisa a viabilidade da reciclagem de resíduos provenientes dos municípios e da construção civil. O trabalho *“Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport”* (Pulselli, R.M. et al, 2007) aplica a metodologia de contabilidade ambiental em emergia na produção de cimento e concreto, com objetivo de avaliar a dependência destes materiais em recursos naturais não renováveis. O artigo de Meillaud et al, 2005 avalia o aspecto da economia de energia elétrica mediante a instalação de placas solares no campus do Instituto Federal Suíço de Tecnologia de Lausane. Outro documento interessante para este estudo é de Pulselli, R. M. et al, 2007, que analisa o fluxo principal de energia e material no processo de construção, manutenção e uso de edifícios utilizando a contabilidade ambiental em emergia.

## 2. Metodologia

### Fundamentos Teóricos

A Contabilidade Ambiental em emergia está baseada na metodologia e teoria desenvolvida por Howard T. Odum (*Faculty of Environmental Engineering, University of Florida, EUA*). Odum sintetizou na sua metodologia o

---

KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE

conhecimento da teoria geral de sistemas (Von Bertalanffy), termodinâmica de sistemas irreversíveis (Prigogine e DenBigh) e da ecologia (Eugene e Howard Odum) numa abordagem integradora dos sistemas da biosfera. A Contabilidade Ambiental em energia considera aspectos econômicos e ambientais de um sistema, convertendo todas as entradas, fluxos e saídas em energia solar, que é a energia básica de todos os processos da biosfera (sejam naturais ou humanos).

A análise em energia é uma contabilização do ciclo de vida da quantidade total de energia solar necessária para produzir ou sustentar um produto, animal, fábrica ou ecossistema. Este tipo de análise pode ser útil para verificar a primeira regra do desenvolvimento sustentável (enunciada por Hermann Daly chamada de princípio do resultado sustentável). O princípio do resultado sustentável estabelece que os recursos devam ser explorados a uma taxa compatível com sua velocidade de reposição pela natureza. Este princípio pode ser utilizado como um guia do consumo de recursos em função de seu tempo de formação

Uma vantagem importante da Contabilidade Ambiental em energia, com relação aos outros métodos, é que a mesma metodologia pode ser empregada para estudar diferentes sistemas (sejam humanos ou naturais) e que os indicadores são de fácil interpretação, com consolidada fundamentação científica. Os outros métodos utilizados em avaliações ambientais e de sustentabilidade não possuem estas características de praticidade e rigor científico.

A abordagem em energia e os seus indicadores de sustentabilidade são instrumentos que permitem analisar atividades (sob uma única unidade de medida e critério) e fornecer um diagnóstico (de avaliação comparativa entre diferentes opções ou monitoramento da evolução temporal) para a melhoria contínua do "desempenho ambiental" (*environmental performance*).

### **Procedimentos e Descrição**

A metodologia para avaliação de processos ambientais estabelece o seguinte procedimento :

a) elaboração do diagrama de energia do sistema

A diagramação utiliza uma linguagem simbólica do sistema de energia, detalhados por H.T. Odum (1983b,1994a) e é denominado energia do sistema, porque tudo no nosso universo contém energia. Este diagrama delimita a área do estudo em questão, e mostra as interações do processo produtivo, os recursos renováveis e não renováveis da natureza, os recursos da economia bem como a circulação de moedas dentro do sistema . O conjunto destes símbolos esquematizados neste diagrama é denominado de janela ambiental.

b) levantamento físico

No processo produtivo em estudo, é realizado em campo, as medidas técnicas dos recursos gastos, quer seja dos recursos naturais como dos recursos da economia. É semelhante ao levantamento de custos de um sistema contábil tradicional, na qual o valor levantado não é a moeda , mas sim o detalhe técnico. Por exemplo: quantidade de concreto utilizado na fundação das casas ou o levantamento da insolação média anual da região onde se encontra a construção.

A seguir é calculado para cada recurso gasto , a sua energia na medida base do sistema em estudo. Por exemplo, a medida base para o estudo destas construções é J/ano (Joules por ano) ou g/ano (gramas por ano). No caso do concreto da construção de alvenaria o valor da energia foi de  $5,59 \times 10^6$  g/ano.

## c) montagem da tabela de eMergia

Esta tabela produz o resultado da eMergia do processo, e possibilita o cálculo dos indicadores ambientais. Contém as seguintes informações: Descrição do recurso utilizado, a sua energia, a sua energia/unidade (transformidade), resultando na eMergia empregada para cada produto.

O quociente da eMergia de um produto dividido pela sua energia é definido como sua transformidade (H.T. Odum, 1976b, 1988). Quanto mais transformações ocorrem para a formação de um produto, maior será a sua transformidade. A cada transformação a energia disponível é usada para produzir uma quantidade de energia armazenada de uma outra forma. Assim a eMergia é crescente, enquanto a energia é decrescente. Por exemplo, na construção da casa de alvenaria, a transformidade da casa é maior que a do concreto, madeira, vidros, entre outros que a compõe.

## d) cálculo dos indicadores ambientais

Uma vez montada a tabela de eMergia, esta fornece as informações necessárias para o cálculo dos indicadores ambientais:

*EYR (Emergy Yield Ratio) – Rendimento*

EYR é a razão entre a emergia total do sistema (R+N+F) dividido pelas entradas provenientes da economia (F). É um indicador que compara entradas externas com entradas locais, fornecendo uma medida da habilidade do processo em explorar recursos locais. Quanto maior o EYR, maior será esta habilidade, fator que não deve ser negligenciado em sistemas econômicos. Este indicador é uma medida da capacidade de um processo explorar o recurso gratuito a partir de um recurso da economia.

*ELR (Environmental Loading Ratio) – Carga ambiental*

O ELR é a razão entre a emergia proveniente da economia (F) somada à emergia não renovável (N) dividida pela emergia ambiental gratuita (R). Este indicador representa a pressão exercida pelo sistema produtivo no ecossistema onde está localizado e pode ser considerado como o desgaste do ecossistema devido à atividade produtiva. Definida uma fração de renovabilidade pelo total da emergia de saída ( $W = R/(R+N+F)$ ), o ELR está conectado a W, pela equação  $ELR = (1/W) - 1$ , (ULGIATTI, BROWN, 1998). Isto significa que a carga ambiental (desgaste aplicado ao ambiente) pode ser expressa como uma fração da emergia renovável direcionando um processo. Quanto menor a fração da emergia renovável usada, maior a pressão no ambiente.

*EIR (Emergy Investment Ratio) – Investimento*

EIR define a relação entre as entradas provenientes da economia (F) dividida pelas entradas disponíveis locais e gratuitas (N+R). Seu significado físico é a quantificação dos recursos econômicos necessários para a exploração dos recursos locais. Quanto mais o EIR chegar próximo de zero, mais competitivo será o processo, pois recebe um maior percentual de entrada de emergia gratuita do meio ambiente. Este indicador mede a intensidade do desenvolvimento econômico e sua influência na carga ao ambiente.

*EIS (Sustainability Index) – Sustentabilidade*

É a relação entre o rendimento (EYR) e o investimento (EIR). Economicamente, se EIS é menor do que um, sinaliza uma economia desenvolvida e de alto grau de consumo. EISs maiores do que 10 sinalizam uma economia subdesenvolvida. EIS entre 1 e 10 sinaliza uma economia em desenvolvimento

(ULGIATTI, BROWN, 1998). Os mesmos autores definem valores que indicam a sustentabilidade ambiental. Se o valor de EIS é menor que um, o sistema é insustentável ambientalmente. Se o valor de EIS é maior que cinco, o sistema em estudo é sustentável ambientalmente. Se o valor do EIS ficar entre um e cinco o sistema é sustentável ambientalmente a médio termo. Este índice considera a maximização do rendimento ambiental contra a minimização da carga ambiental.

e) montagem do diagrama ternário

Diagramas ternários são apresentados como ferramentas gráficas no auxílio da contabilidade ambiental baseados na síntese emergética. A imediata visualização permite a comparação de processos e sistemas para avaliar melhorias e acompanhar o desempenho ao longo do tempo. Com a objetividade dos diagramas ternários, aspectos como a interação dos sistemas e meio ambiente podem ser prontamente reconhecidos e avaliados.

### 3. Resultados

Foram analisados três construções de casas, utilizando a mesma planta arquitetônica, Fig. 1. Como descrito na Introdução, a primeira casa foi construída de madeira recuperada a partir de resíduos de serrarias, a segunda foi de madeira de primeiro uso e a terceira de alvenaria.

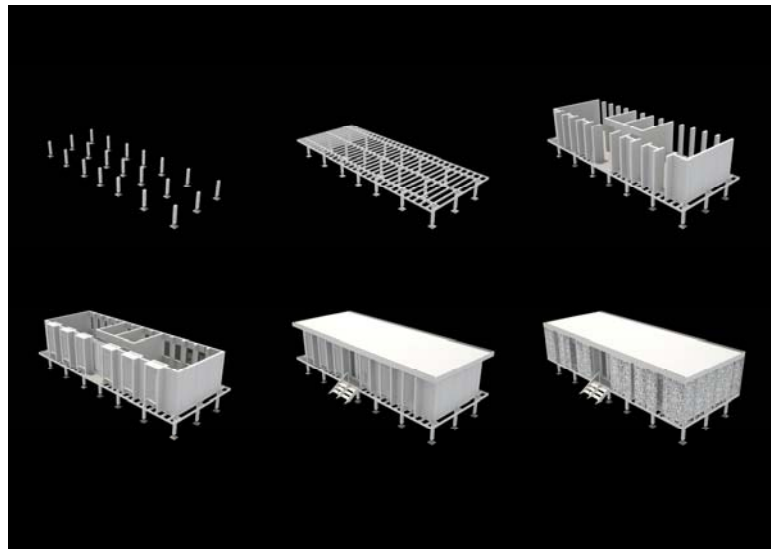


Fig.1: Planta Arquitetônica em perspectiva.

O local escolhido para a construção destas casas foi a cidade de Vilhena, no Estado de Roraima (Latitude -12, Longitude -60, Altitude 612). A cidade de Vilhena é um pólo de desenvolvimento, e possui uma indústria madeireira que deixa uma quantidade significativa de resíduos de madeira não utilizável. Para reaproveitamento de um recurso local, considerou-se Vilhena como a cidade modelo para a recuperação dos resíduos de madeira, na qual mediante um equipamento de corte e prensa consegue-se a madeira reconstruída e aparelhada.

Os dados da radiação solar da cidade de Vilhena foi retirado do site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), cujo valor disponível de 1993 é de 5.960,4 MJ/m<sup>2</sup>. (<http://pyata.cptec.inpe.br>).

Do site (<http://satelite.cptec.inpe.br>) foi retirado o valor da precipitação da chuva cujo valor estimado foi de 2.200 mm no ano de 2007.

Este estudo tem como escopo de trabalho o cálculo em eMergia da construção das casas, não considerando o seu uso. A Tabela 1 representa o cálculo da Emergia da casa construída a partir da madeira de “aproveitamento”. Para a produção desta madeira é necessário um processo produtivo, que também foi levado em consideração no presente estudo. Este processo produtivo é composto por quatro etapas: secagem natural, secagem em estufa solar, prensa/corte e acabamento.

Tabela 1: Contabilidade em emergia na Construção da Casa de Madeira recuperada.

Casa Madeira Recuperada						
Item	Descrição	Unid.	Energia/ unid	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia sej	% (sej/sej)
<b>Processo Produtivo Madeira Reaproveitada</b>						
<b>Secagem Natural</b>						
1	Sol	J	1,19E+09	1,00E+00	1,19E+09	<0,5
2	Energ. Cinet. Vento	J	8,52E+04	2,52E+03	2,15E+08	<0,5
3	Madeira	g	2,42E+03	8,79E+08	2,12E+12	<0,5
<b>Estufa Solar</b>						
4	Sol	J	2,68E+09	1,00E+00	2,68E+09	<0,5
5	Madeira	g	4,40E+03	8,79E+08	3,87E+12	<0,5
6	Teto Alumínio	g	7,83E+02	1,27E+10	9,95E+12	<0,5
7	Papelão Reciclado	g	3,83E+00	2,38E+09	9,12E+09	<0,5
8	Ventilador	g	1,67E+01	4,10E+09	6,83E+10	<0,5
<b>Equipamentos Serraria</b>						
9	Máquinas	g	6,67E+03	4,15E+09	2,77E+13	0,83%
<b>Equipamento Especial</b>						
10	Corte/Prensa	g	2,83E+02	4,15E+09	1,18E+12	<0,5
<b>Total Processo Produtivo</b>					4,49E+13	
<b>Construção Casa Madeira</b>						
11	Sol	J	4,44E+11	1,00E+00	4,44E+11	<0,5
12	Energ. Cinet. Vento	J	7,62E+07	2,52E+03	1,92E+11	<0,5
13	Energia Química Chuva	J	8,09E+08	3,06E+04	2,48E+13	0,74%
14	Mão de Obra	J	2,47E+08	7,32E+06	1,81E+15	54,05%
15	Madeira	g	6,02E+05	8,79E+08	5,29E+14	15,82%
16	Madeira (Portas)	g	8,89E+03	8,79E+08	7,81E+12	<0,5
17	Madeira (Janelas)	g	8,57E+03	8,79E+08	7,53E+12	<0,5
18	Ferro(Sapata)	g	7,00E+03	4,15E+09	2,90E+13	0,87%
19	Concreto (sapata+Broca)	g	4,21E+05	1,54E+09	6,48E+14	19,38%
20	Cerâmica (piso)	g	5,63E+03	3,06E+09	1,72E+13	0,51%
21	Cerâmica (parede)	g	2,98E+02	3,06E+09	9,13E+11	<0,5
22	Louças Banheiro	g	6,00E+02	3,06E+09	1,84E+12	<0,5
23	Pia Cozinha	g	8,00E+02	8,40E+08	6,72E+11	<0,5
24	Cuba inox	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,5
25	Cola	g	7,56E+03	5,75E+09	4,35E+13	1,30%
26	Massa Vedação	g	1,44E+04	1,98E+09	2,85E+13	0,85%
27	Compensado Naval	g	7,82E+03	8,79E+08	6,87E+12	<0,5
28	Vidro (Janelas)	g	5,76E+02	2,16E+09	1,24E+12	<0,5
29	Aço (Janelas)	g	4,51E+03	4,15E+09	1,87E+13	0,56%
30	Caixa d'água	g	7,20E+02	5,75E+09	4,14E+12	<0,5
31	Caixa d'água (Cisterna)	g	8,00E+02	5,75E+09	4,60E+12	<0,5
32	Vidro (Coletor placa solar)	g	1,20E+03	2,16E+09	2,59E+12	<0,5
33	Alumínio (Coletor placa solar)	g	5,57E+02	1,27E+10	7,07E+12	<0,5
34	Inox (Reservatório placa solar)	g	1,19E+03	4,15E+09	4,94E+12	<0,5
<b>Escada Alvenaria</b>						
35	Ferro	g	9,90E+02	4,15E+09	4,11E+12	<0,5
36	Concreto	g	5,76E+04	1,54E+09	8,87E+13	2,65%
37	Tijolos de ceramica	g	3,08E+03	3,06E+09	9,42E+12	<0,5
38	Arame	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,5
<b>Total Construção Casa</b>					3,30E+15	

Na construção da casa de madeira de “aproveitamento”, observa-se que o item 14 – Mão de Obra é aquela que tem o maior valor de eMergia ( $1,81 \times 10^{15}$  sej), representando 54% da eMergia total do sistema. Aprofundar no estudo da otimização da locação da mão de obra poderá ser significativo na melhoria da eMergia do sistema.

O segundo item de maior relevância é o concreto e ferro para construir as sapatas e brocas da casa. O valor calculado foi de  $6,76 \times 10^{14}$  sej representando 20% da eMergia total do sistema. Este recurso é necessário na sustentação da casa, elemento principal da estrutura. A escada de alvenaria projetada para as

três construções poderá ser substituída por recursos locais, a própria madeira recuperada e ferro ornamental de casa demolida. Esta ação diminuirá a eMergia do sistema.

O terceiro item relevante é a madeira de "aproveitamento". Os itens 15,16,17 da tabela 1, cuja soma da eMergia é de  $5,44 \times 10^{14}$  sej, representam 16% da eMergia. Como esta madeira é recuperado mediante o processo de resíduos da indústria madeireira local, considerou-se a eMergia deste recurso como F2 (recurso renovável da economia).

Estes três recursos somam 90% da eMergia total do sistema.

Os cálculos da eMergia para a construção da casa de madeira de primeiro uso, são visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Contabilidade em eMergia na Construção da Casa de Madeira.

Casa Madeira						
Item	Descrição	Unid.	Valor/ unid	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia sej	% (sej/sej)
<b>Construção Casa Madeira</b>						
11	Sol	J	4,44E+11	1,00E+00	4,44E+11	<0,50
12	Energ. Cinet. Vento	J	7,62E+07	2,52E+03	1,92E+11	<0,50
13	Energia Química Chuva	J	8,09E+08	3,06E+04	2,48E+13	0,75%
14	Mão de Obra	J	2,47E+08	7,32E+06	1,81E+15	54,79%
15	Madeira	g	6,02E+05	8,79E+08	5,29E+14	16,03%
16	Madeira (Portas)	g	8,89E+03	8,79E+08	7,81E+12	<0,50
17	Madeira (Janelas)	g	8,57E+03	8,79E+08	7,53E+12	<0,50
18	Ferro(Sapata)	g	7,00E+03	4,15E+09	2,90E+13	0,88%
19	Concreto (sapata+Broca)	g	4,21E+05	1,54E+09	6,48E+14	19,65%
20	Cerâmica (piso)	g	5,63E+03	3,06E+09	1,72E+13	0,52%
21	Cerâmica (parede)	g	2,98E+02	3,06E+09	9,13E+11	<0,50
22	Louças Banheiro	g	6,00E+02	3,06E+09	1,84E+12	<0,50
23	Pia Cozinha	g	8,00E+02	8,40E+08	6,72E+11	<0,50
24	Cuba inox	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,50
25	Cola	g	7,56E+03	5,75E+09	4,35E+13	1,32%
26	Massa Vedação	g	1,44E+04	1,98E+09	2,85E+13	0,86%
27	Compensado Naval	g	7,82E+03	8,79E+08	6,87E+12	<0,50
28	Vidro (Janelas)	g	5,76E+02	2,16E+09	1,24E+12	<0,50
29	Aço (Janelas)	g	4,51E+03	4,15E+09	1,87E+13	0,57%
30	Caixa d'agua	g	7,20E+02	5,75E+09	4,14E+12	<0,50
31	Caixa d'agua (Cisterna)	g	8,00E+02	5,75E+09	4,60E+12	<0,50
32	Vidro (Coletor placa solar)	g	1,20E+03	2,16E+09	2,59E+12	<0,50
33	Alumínio (Coletor placa solar)	g	5,57E+02	1,27E+10	7,07E+12	<0,50
34	Inox (Reservatório placa solar)	g	1,19E+03	4,15E+09	4,94E+12	<0,50
<b>Escada Alvenaria</b>						
35	Ferro	g	9,90E+02	4,15E+09	4,11E+12	<0,50
36	Concreto	g	5,76E+04	1,54E+09	8,87E+13	2,69%
37	Tijolos de ceramica	g	3,08E+03	3,06E+09	9,42E+12	<0,50
38	Arame	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,50
<b>Total Construção Casa</b>					3,30E+15	

Observa-se que nesta construção os valores relevantes são novamente mão de obra, concreto e madeira, totalizando 90% da eMergia do sistema.

Na Tabela 3 apresenta-se os cálculos de eMergia para a casa construída em alvenaria.

Tabela 3: Contabilidade em energia na Construção da Casa de Alvenaria.

Casa Alvenaria						
Item	Descrição	Unid.	Valor/ unid	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia sej	% (sej/sej)
<b>Construção Casa Madeira</b>						
11	Sol	J	4,44E+11	1,00E+00	4,44E+11	<0,5
12	Energ. Cinet. Vento	J	7,62E+07	2,52E+03	1,92E+11	<0,5
13	Energia Química Chuva	J	8,09E+08	3,06E+04	2,48E+13	<0,5
14	Mão de Obra	J	3,53E+08	7,32E+06	2,58E+15	21,37%
16	Madeira (Portas)	g	8,89E+03	8,79E+08	7,81E+12	<0,5
17	Madeira (Janelas)	g	8,57E+03	8,79E+08	7,53E+12	<0,5
18	Ferro (Fundação e estrutura)	g	6,06E+04	4,15E+09	2,52E+14	2,08%
19	Concreto (Fundação e estrutura)	g	5,59E+06	1,54E+09	8,61E+15	71,22%
20	Cerâmica (piso)	g	5,63E+03	3,06E+09	1,72E+13	<0,5
21	Cerâmica (parede)	g	2,98E+02	3,06E+09	9,13E+11	<0,5
22	Louças Banheiro	g	6,00E+02	3,06E+09	1,84E+12	<0,5
23	Pia Cozinha	g	8,00E+02	8,40E+08	6,72E+11	<0,5
24	Cuba inox	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,5
25	Assoalho	g	2,89E+04	8,79E+08	2,54E+13	<0,5
26	Cimento	g	5,00E+04	2,37E+09	1,19E+14	0,98%
27	Cal	g	7,50E+04	1,68E+09	1,26E+14	1,04%
28	Areia	g	1,50E+05	1,12E+09	1,68E+14	1,39%
29	Vidro (Janelas)	g	5,76E+02	2,16E+09	1,24E+12	<0,5
30	Aço (Janelas)	g	4,51E+03	4,15E+09	1,87E+13	<0,5
31	Caixa d'água	g	7,20E+02	5,75E+09	4,14E+12	<0,5
32	Caixa d'água (Cisterna e placa solar)	g	8,00E+02	5,75E+09	4,60E+12	<0,5
33	Vidro (Coletor placa solar)	g	1,20E+03	2,16E+09	2,59E+12	<0,5
34	Alumínio (Coletor placa solar)	g	5,57E+02	1,27E+10	7,07E+12	<0,5
35	Inox (Reservatório placa solar)	g	1,19E+03	4,15E+09	4,94E+12	<0,5
<b>Escada Alvenaria</b>						
35	Ferro	g	9,90E+02	4,15E+09	4,11E+12	<0,5
36	Concreto	g	5,76E+04	1,54E+09	8,87E+13	0,73%
37	Tijolos de cerâmica	g	3,08E+03	3,06E+09	9,42E+12	<0,5
38	Arame	g	4,00E+01	4,15E+09	1,66E+11	<0,5
<b>Total Construção Casa</b>					1,21E+16	

Na casa de alvenaria observa-se que o recurso estrutural (concreto mais ferro) consome 73% da eMergia do sistema e a mão de obra 21%. Estes dois recursos somam 94% da eMergia, praticamente todo o recurso externo provenientes da economia. O projeto arquitetônico utilizado é desfavorável para a construção em alvenaria. O recurso utilizado (concreto e ferro) seria bem menor em um projeto arquitetônico sem pilotis.

Os fluxos de energia e os indicadores dos três casos estudados estão calculados na Tabela 4.



Tabela 4: Fluxos de energia e Indicadores

<b>Casa Madeira Recuperada</b>		
<b>Fluxo de Energia</b>		
<b>Total (Y)</b>		3,34E+15
<b>Total F2</b>		5,45E+14
<b>Total F</b>		2,78E+15
<b>Total R</b>		2,48E+13
<b>Indicadores</b>		
EYR	$(R+N+F)/F$	1,21
EIR	$F/(N+R)$	4,88
EIS	$EYR/EIR$	0,25
ELR	$(N+F)/R$	4,88
<b>Casa Madeira</b>		
<b>Fluxo de Energia</b>		
<b>Total (Y)</b>		3,30E+15
<b>Total F</b>		3,28E+15
<b>Total R</b>		2,48E+13
<b>Indicadores</b>		
EYR	$(R+N+F)/F$	1,01
EIR	$F/(N+R)$	132,31
EIS	$EYR/EIR$	0,008
ELR	$(N+F)/R$	132,31
<b>Casa Alvenaria</b>		
<b>Fluxo de Energia</b>		
<b>Total (Y)</b>		1,21E+16
<b>Total F</b>		1,21E+16
<b>Total R</b>		2,48E+13
<b>Indicadores</b>		
EYR	$(R+N+F)/F$	1,00
EIR	$F/(N+R)$	487,27
EIS	$EYR/EIR$	0,0021
ELR	$(N+F)/R$	487,27

Comparando-se o indicador EYR nos três casos estudados, verifica-se que a casa de madeira de "aproveitamento" tem maior habilidade em explorar os recursos locais. Explica-se que esta maior efetividade é devido ao fato de considerar a madeira de "aproveitamento" como um recurso renovável da economia. Nos outros dois casos, este indicador está próximo de um, sinalizando que todo o recurso utilizado é proveniente da economia, com pouca utilização dos recursos gratuitos da natureza.

O indicador EIR sinaliza o investimento econômico necessário para a exploração de recursos locais. Verifica-se na comparação dos três casos, a casa de madeira (não recuperada) é 27 vezes maior que a casa da madeira de "aproveitamento". A Alvenaria é 100 vezes maior. Isto significa que é necessário 100 vezes mais recursos econômicos na construção de alvenaria em relação a casa de madeira de "aproveitamento" para o mesmo recurso local.

Como não são utilizados os recursos não renováveis neste estudo, o valor numérico do indicador ELR é o mesmo do EIR. O significado deste indicador é a pressão que é exercida no ambiente. Assim a casa de alvenaria coloca uma carga ambiental 100 vezes maior do que a casa de madeira de "aproveitamento".

O Diagrama Ternário está representado pela Figura 2.

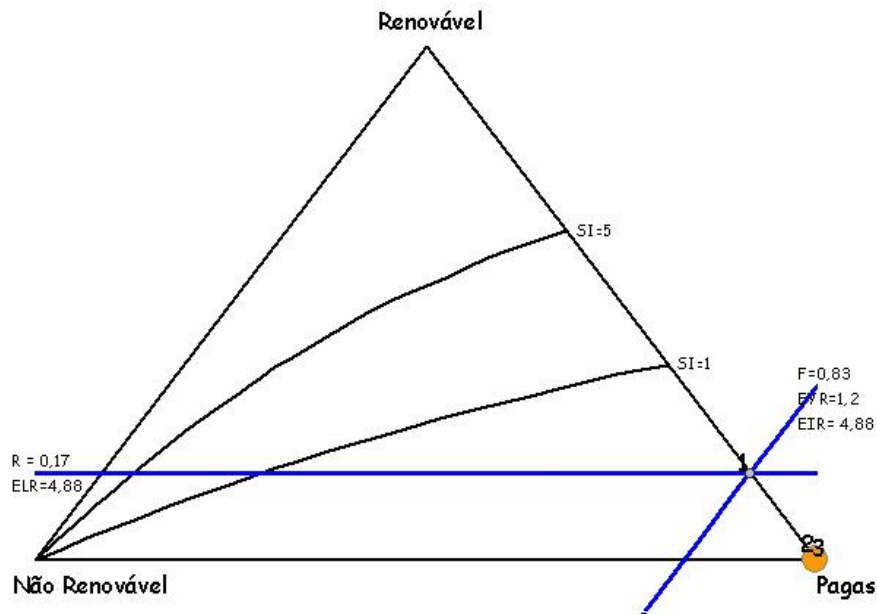


Figura 2: Diagrama Ternário dos três casos analisados.

O ponto 1 representa a casa de madeira recuperada cujo índice de sustentabilidade é de 0,25.

O ponto 2 representa a casa de madeira, com  $EIS = 0,008$

O ponto 3 representa a casa de alvenaria, com  $EIS = 0,002$

Conforme critérios de Ulgiatti e Brown (1998), valores de EIS menores do que um são insustentáveis ambientalmente. No estudo, os três casos ficaram na área de não sustentabilidade, porém no caso, a casa de madeira de “aproveitamento” é 31,25 vezes mais sustentável ambientalmente do que a casa de alvenaria.

#### 4. Considerações Finais

A aplicação da contabilidade em eMergia mostrou-se capaz de mensurar as contribuições dos fluxos ambientais, recursos econômicos e do trabalho humano. A ferramenta gráfica adotada permitiu um melhor entendimento da contribuição efetiva das entradas do sistema, proporcionando calcular a situação de um dado processo produtivo e também identificar parâmetros críticos que podem ser transformados, incrementando o desempenho ambiental do sistema como um todo.

A casa de madeira de “aproveitamento” mostrou-se mais favorável para o ambiente, todos os indicadores foram superiores aos outros dois casos em estudo, o que pode permitir a adoção desta casa como solução de habitação da cidade de Vilhena e região.

#### 5. Referências Bibliográficas

Brown, M.T., Buranakarn, V., 2003. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options, *Resources, Conservation and Recycling*, 38, 1-22.

Brown, M.T., Ulgiatti, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems, *Ecological Modelling*, 178, 201-213.

Buenfil, A., 2001. Emergy evaluation of water, Dissertation presented to the graduate school of University of Florida.

- Coelho, O., Ortega, E., 2002. Balanço de energia do Brasil, <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/CO5-Brasil-COC.pdf>, acesso em junho 2005.
- Meillaud, F., Gay, J.B.; Brown, M.T., 2005. Evaluation of a building using the energy method, *Solar Energy*, 79, 204-212.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental accounting: Energy and Environmental Decision Making*, Ed John Wiley & Sons Ltd, USA.
- Pulselli, R.M., Simoncini, E., Pulselli, F.M., Bastianoni, S., 2007. Energy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability, *Energy and Buildings*, Italia, n.39, p620-628
- Pulselli, R.M., Simoncini, E., Ridolfi, R., Bastianoni, S., 2008. Specific energy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport, *Ecological Indicators*, Italia, 08, 647-656.