



Acc4ademic

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

Aplicativo baseado na Web para Cálculo e Análise de Sustentabilidade Ambiental em Emergia

FRANÇA, W. L. M. ^{a*}, DEMETRIO, F. J. C. ^a GIANNETTI, B. F. ^b, ALMEIDA, C. M. V. B.

a. *Universidade Estadual do Maranhão, São Luís*

b. *Universidade Paulista, São Paulo*

*Correspondencia do autor, wellington.franca@ibge.gov.br

Resumo

Este artigo apresenta um software na web, no modelo cliente/servidor de quatro camadas, para cálculo e análise dos índices de sustentabilidade ambiental utilizando a emergia como ferramenta. A primeira camada é formada por uma base de dados MySQL armazenada em um servidor web Apache. Na camada de regras de negócio desenvolvem-se as rotinas de cálculo e análise dos índices em emergia dos recursos considerados, utilizando-se a linguagem de programação PHP. Através de um formulário na camada de apresentação, o usuário fornece os dados primários de entrada a cerca dos recursos renováveis, não renováveis, transformados, exportados e importados de qualquer sistema regional e recebe, como saída, a análise ambiental em emergia sob a forma de gráficos, mapas temáticos e tabelas com valores dos indicadores calculados. Os navegadores de internet representam a camada cliente. Os testes indicaram que as tecnologias de código aberto PHP e MySQL associadas a uma metodologia de avaliação ambiental mostraram como as ferramentas computacionais podem contribuir para o desenvolvimento sustentável de uma região.

Palavras-chave: *emergia, recurso, aplicativo web, desenvolvimento sustentável*

1. Introdução

O final do século XX presenciou o crescimento da consciência da sociedade em relação à degradação do meio ambiente decorrente do processo de desenvolvimento. O aprofundamento da crise ambiental, juntamente com a reflexão sistemática sobre a influência da sociedade neste processo, conduziu a um novo conceito: o de desenvolvimento sustentável. Esse conceito alcançou notável destaque a partir dos anos noventa, tornando-se um dos termos mais utilizados para se definir um novo modelo de desenvolvimento. A crescente legitimidade do conceito não veio acompanhada, entretanto, de uma discussão crítica consistente a respeito do seu significado efetivo e das medidas necessárias para alcançá-lo. Na medida em que não existe razoável consenso a cerca do conceito, observa-se uma distinção considerável nas discussões referentes à avaliação da sustentabilidade do desenvolvimento (BELLEN, 2003). Essa avaliação é fundamental como meio de tornar real essa sustentabilidade. Assim, diversos métodos de avaliação têm sido propostos na implementação de análises tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo.

A avaliação emergética proposta por Odum (1996) pode estimar a demanda de recursos utilizados pelo homem e diagnosticar a situação dos recursos naturais utilizados (ZHAO et al.; 2005). Na economia convencional, o preço econômico de um produto mede o trabalho humano agregado,

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

São Paulo - Brazil - May 22nd to 24th - 2013

porém não considera a contribuição da natureza na formação dos insumos utilizados, nem o custo das externalidades negativas no sistema regional - quando no preço do bem colocado no mercado não estão incluídos as perdas sociais resultantes de sua produção ou consumo (PONCIANO *et al.*, 2008) - e nem as despesas resultantes da exclusão social gerada pelo empreendimento e pagas pela sociedade local (ORTEGA, 2002).

Considerando o impacto ambiental causado pelo atual modelo econômico praticado pelo homem e a potencialidade do método de mensuração baseado na emergia, este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo capaz de calcular e avaliar os indicadores de sustentabilidade de uma determinada região e também comunicar, divulgar, propagar esses dados de forma rápida e sem maiores exigências de *hardware* e *software*. Para isso utilizou-se a Internet como plataforma de desenvolvimento segundo o modelo cliente/servidor de 04 camadas e tecnologias *web open source*. Na camada de dados atua o Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacional *MySQL* administrando as tabelas do banco. A camada subsequente é a camada lógica e estabelece as regras de negocio codificadas por meio da linguagem de programação *PHP*, voltada para implementação de soluções *web* no *server side*, e outras tecnologias como *Javascript* e *Actionscript* atuando no *client side*. A terceira camada é a de apresentação, representada pela interface do aplicativo e desenvolvida de acordo com critérios de usabilidade, eficiência e performance. Nesta camada a aplicação recebe os dados primários - a matéria prima - dos recursos através de um formulário e devolve a análise utilizando estruturas como gráficos, tabelas e mapas temáticos. A camada cliente é a última e é representada pelos navegadores de internet, que permitem acesso fácil e rápido por parte de qualquer usuário, livre das restrições impostas pelo tempo e pela geografia.

2. Aplicativos cliente/servidor de 04 camadas

O modelo de aplicativo cliente/servidor de quatro camadas surgiu a partir da evolução do modelo de três camadas. Neste modelo retira-se a camada de apresentação do cliente e centraliza-se em um servidor denominado servidor web. O aplicativo cliente deixa de existir como um programa que precisa ser instalado em cada computador da rede e o acesso à aplicação é feito através de navegadores de internet, utilizando um endereço para alcançar a máquina servidora. As camadas desse modelo são: dados, lógica, apresentação e cliente. Na camada de dados reside o servidor de banco de dados representado por um SGBD. A camada lógica armazena o programa propriamente dito, escrito normalmente em uma linguagem de programação de alto nível e que codifica as chamadas regras de negócio, isto é, os algoritmos que determinam de que maneira os dados serão manipulados pelo programa. A camada de apresentação fica armazenada no servidor web e representa a interface do aplicativo, composta de páginas *HTML*, *XHTML*, *Javascript*, *PHP*, *ASP*, ou qualquer outra tecnologia capaz de gerar conteúdo a ser interpretado pelo navegador. Isto permite que mudanças na *interface* da aplicação sejam feitas diretamente no servidor *web* e disponibilizadas automaticamente para todos os clientes, eliminando a necessidade de reinstalação em todos os computadores da rede a cada vez que uma alteração for feita na *interface* e possibilitando que todos os clientes acessem a versão mais atualizada do aplicativo. A camada cliente é representada pelos próprios navegadores de internet, a exemplo do *Internet Explorer*, *Mozilla Firefox*, *Google Chrome*, *Opera*, *Safari*, e outros. Apesar da Fig. 1 apresentar esse modelo com cada servidor atuando em uma máquina distinta (BATTISTI, 2003), pode-se usar uma única máquina desempenhando o papel de todos servidores, devendo-se, neste caso, considerar o aspecto da performance.

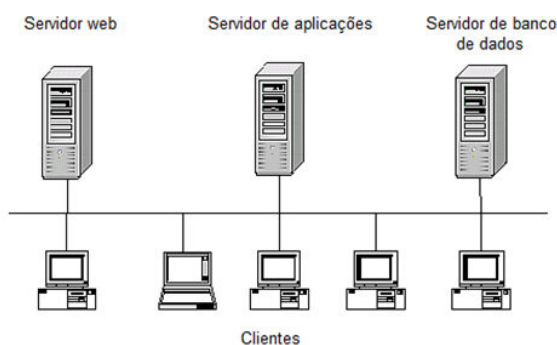


Fig. 1. Modelo de aplicativo cliente/servidor de 04 camadas.

3. Aplicativo proposto

3.1 Camada de dados

A camada de dados do aplicativo é formada por 10 tabelas com engine InnoDB, que suporta controle de transações e restrições de integridade referencial (BORRIE, 2006), cujo alias do banco foi denominado *Emergy*. As chaves primárias dessas tabelas são geradas automaticamente através de campos do tipo auto-incremento, evitando, desta forma, a manipulação por parte do usuário. Índices secundários foram criados com o objetivo de recuperar os registros no menor tempo possível através da otimização do Plano de Consultas do *MySQL* nas operações que envolvam a junção de duas ou mais tabelas, nas comparações com constantes e nas consultas que possuem as cláusulas *Group By* e *Order By* (BORRIE, 2006). Restrições de integridade referencial foram construídas entre algumas entidades objetivando preservar a integridade e consistência dos dados. As dez tabelas são:

- Usuario – Entidade que armazena os dados pessoais do usuário, de contato e de autenticação no sistema;
- Grupo – Esta entidade armazena os cinco grupos possíveis nos quais os fluxos de energia sobre os quais incidirão os cálculos dos indicadores serão classificados: renováveis, não renováveis, transformações internas, exportados e importados. Cada grupo recebeu um código numérico variando de 0 a 4 identificando unicamente um grupo;
- Fluxo – Os fluxos de energia são armazenados nesta tabela e cada um é identificado por um código formado pela concatenação do código do grupo ao qual pertence mais duas letras que representam exclusivamente o fluxo. Como exemplo cita-se o fluxo Energia Solar cujo código é ES3, onde:

ES = Energia Solar
3 = Código do grupo Renovável

- Recurso – A solução web apresentada considera como recurso propriamente dito toda matéria prima de análise e cujos valores serão fornecidos pelo usuário. De forma semelhante aos fluxos, os recursos são identificados por um código formado pela concatenação do código do recurso mais o código do fluxo. O recurso Plataforma Continental é rotulado pelos seguintes códigos: PCES3, PCEQ3, PCMR3, onde:

PC = Plataforma Continental
ES3 = Código do fluxo Energia Solar
EQ3 = Código do fluxo Energia Química da Chuva
MR3 = Código do fluxo Maré

- Rec_Fluxo – Esta entidade é derivada da cardinalidade vários para vários existente no relacionamento entre as tabelas Recurso e Fluxo.
- Projeto – Esta entidade armazena os dados gerais a cerca de uma região a ser analisada. Define o Sistema Regional cujos valores dos recursos considerados na metodologia adotada constituem a entrada de dados do sistema.
- Analise - Armazena a data em que a análise foi cadastrada no sistema e que será apresentada na interface como um *hiperlink* para uma consulta.
- Dados_rec – Armazena os dados primários dos recursos, coletados em fontes distintas, e que são utilizados para calcular a energia previamente requerida por cada fluxo na produção do produto ou serviço (ODUM, 2001).

- Dados_flx – Armazena os dados calculados de energia, emergência e valor *em dolares* dos fluxos anuais.
- Indicadores - Armazena os valores dos índices em emergência calculados sobre os vários fluxos de emergência do sistema regional.

A Tabela 1 apresenta a classificação completa dos grupos, fluxos e recursos com seus respectivos códigos, utilizados na metodologia adotada.

Tabela 1. Classificação dos grupos, fluxos e recursos

Grupo	Fluxo	Recurso	Código
Renováveis	Energia solar	Plataforma continental	PCES3
		Área terrestre	ATES3
		Insolação	ILES3
		Albedo	ALES3
	Energia química da chuva	Plataforma continental	PCEQ3
		Área terrestre	ATEQ3
		Chuva (terra)	CTEQ3
		Chuva (plataforma)	CPEQ3
		Taxa de evaporação	TEEQ3
	Energia potencial da chuva	Área terrestre	ATEP3
		Chuva (terra)	CTEP3
		Altitude média	AMEP3
		Taxa de vazão	TVEP3
	Energia do vento	Área terrestre	ATEV3
		Densidade do ar	DAEV3
		Veloc. média anual do vento	VVEV3
		Vento geostrófico	VGEV3
		<i>Drag coeff.</i>	DCEV3
	Maré	Plataforma continental	PCMR3
		Média da maré	MMMR3
Densidade		DSMR3	
Marés por ano		MAMR3	
Ondas	Litoral	LTON3	
	Altura das ondas	AOON3	
Calor da terra	Área terrestre	ATCT3	
	Fluxo de calor	FCAT3	
Não Renováveis	Gás natural	Gás natural	GNGN2
	Petróleo	Petróleo	PRPT2
	Perda do solo	Área plantada	APPT2
		Perda do solo	PSPT2
	Metais	Alumínio	ALPT2
		Minério de ferro	MFPT2
		Cobre	COPT2
		Ouro	OOPT2
	Minerais	Outros	OTPT2
		Adubo	ADMN2
		Fósforo	FFMN2
		Potássio	PTMN2
Carvão	Nitrogênio	NTMN2	
	Carvão	CVMN2	
Exportados	Combustíveis	Gás natural	GNCB0
		Derivados de petróleo	DPCB0
		Coal	CLCB0
	Metais	Alumínio ou bauxita	ABMT0
		Alumínio	ALMT0
		Minério de ferro	MFMT0
		Aço	ACMT0
		Minério de cobre	MCMT0
		Ouro	OUMT0
	Minerais	Outros	OTMT0
		Cimento	CMMN0
		Fósforo	FFMN0
		Potássio	PTMN0
		Nitrogênio	NTMN0

		Outros	OTMN0
	Produtos agrícolas	Produtos agrícolas	PAPA0
	Produtos de pecuária	Produtos de pecuária	PPPP0
	Plástico e borracha	Plástico e borracha	PBPB0
	Químicos	Químicos	PQQM0
	Materiais finalizados	Madeira	MDMF0
		Papel	PPMF0
		Outros	OTMF0
Máquinas e equipamentos	Máquinas e equipamentos	MEME0	
Serviços	Serviços	SVSV0	
Importados	Combustíveis	Gás natural	GNCB1
		Derivados de petróleo	DPCB1
		Coal	CLCB1
	Metais	Alumínio ou bauxita	ABMT1
		Alumínio	ALMT1
		Minério de ferro	MFMT1
		Aço	ACMT1
		Minério de cobre	MCMT1
		Ouro	OUMT1
		Outros	OTMT1
	Minerais	Cimento	CMMN1
		Fósforo	FFMN1
		Potássio	PTMN1
		Nitrogênio	NTMN1
		Outros	OTMN1
	Produtos agrícolas	Produtos agrícolas	PAPA1
	Produtos de pecuária	Produtos de pecuária	PPPP1
	Plástico e borracha	Plástico e borracha	PBPB1
	Químicos	Químicos	PQQM1
	Materiais finalizados	Madeira	MDMF1
		Papel	PPMF1
		Outros	OTMF1
	Máquinas e equipamentos	Máquinas e equipamentos	MEME1
Serviços	Serviços	SVSV1	
Turismo	Turismo	TRTR1	
Transformações Internas	Produção agrícola	Produção agrícola	PAPA4
	Hidroeletricidade	Hidroeletricidade	KHHE4
	Produtos de pecuária	Produtos de pecuária	PPPP4
	Pescados	Pescados	PEPE4
	Produção de lenha	Produção de lenha	PLPL4
	Extração florestal	Extração florestal	EFEF4

3.2 lógica

Camada

A camada lógica codifica em PHP, entre outros, os algoritmos de cálculo e análise dos indicadores em energia. Os dados primários dos recursos referentes aos estados e regiões brasileiras para o ano 2007 e a metodologia de cálculo adotada neste trabalho podem ser encontrados em Demétrio (2011). Esses dados estão disponíveis a qualquer usuário na *home page* do *site* e podem ser acessados com um dispositivo apontador sobre o mapa ou *hiperlink* rotulado com o nome do sistema regional encontrados na interface. Além de comunicar esses dados, o aplicativo permite que qualquer região do planeta, denominada Sistema Regional, seja analisada segundo essa metodologia, a partir da entrada de seus dados primários em um formulário XHTML, acessado através do menu principal visível a todo o *site*. Esses dados serão armazenados na tabela Dados_rec uma vez autenticado o acesso do usuário. Isto exige um cadastro prévio na tabela Usuario, momento em que são liberados *login* e senha de acesso. Alternativamente, o usuário pode apenas simular uma análise, sem gravação dos dados, não sendo necessária, neste caso, nenhuma ação prévia. A Figura 2 mostra o esquema conceitual do aplicativo.

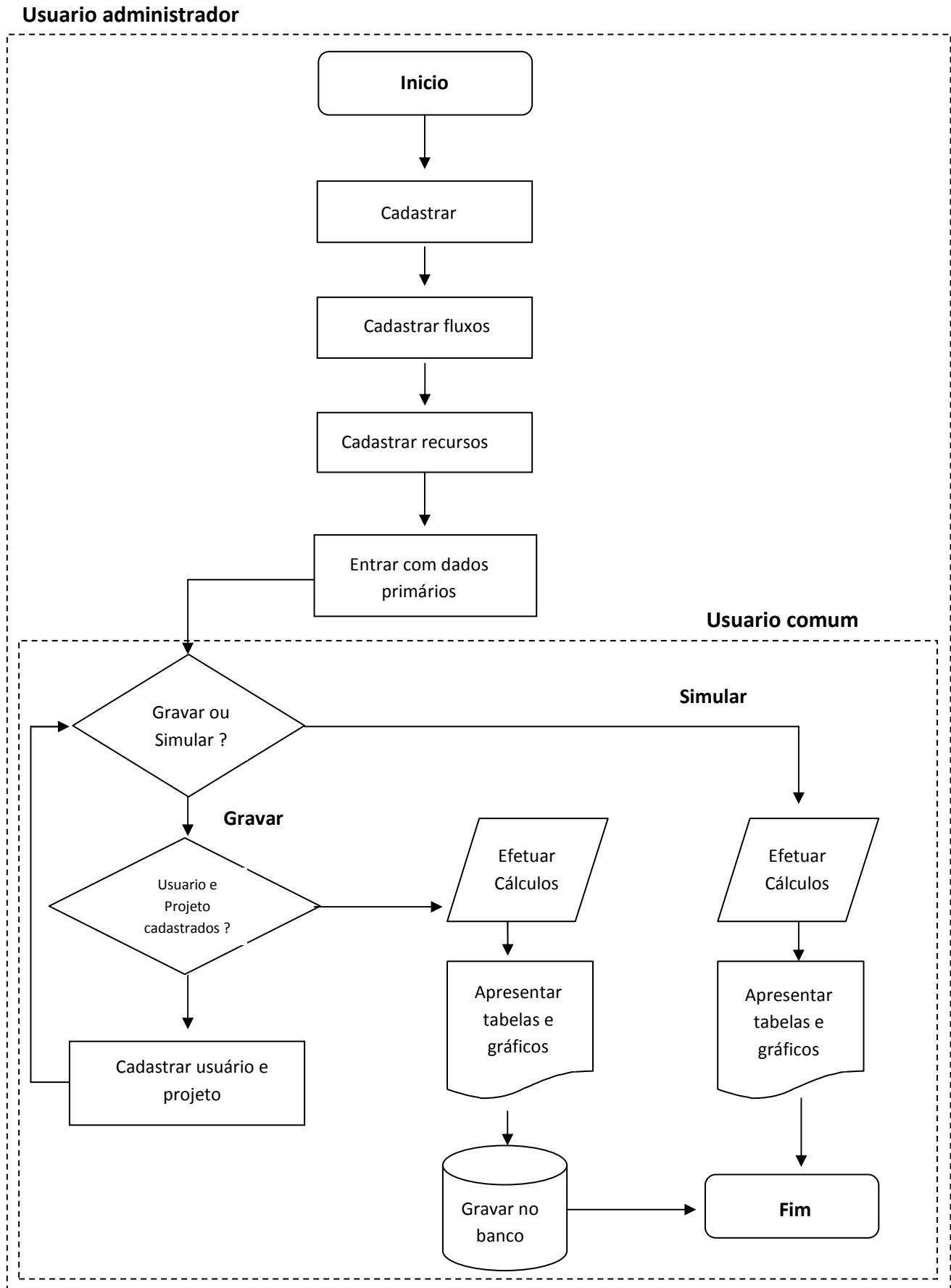
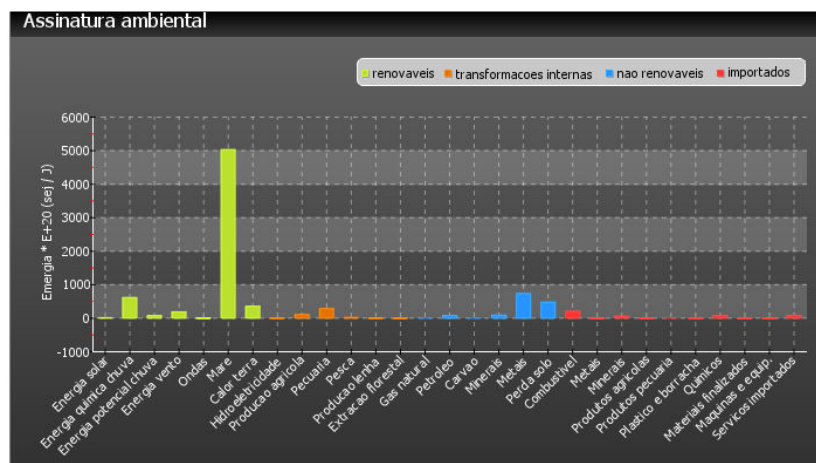


Fig. 2. Esquema conceitual do aplicativo.

Os dados registrados na tabela Dados_rec serão recuperados nas consultas, já que em função da performance, o procedimento que calcula a energia disponível em cada fluxo requisita sua entrada a partir da própria interface, isto é, dos elementos XHTML que compõem o formulário e não do banco de dados. Isto representa certo ganho de velocidade já que não envolve o trabalho de outra camada do modelo. Com os valores de energia dos fluxos armazenados temporariamente em uma estrutura do tipo vetor, o algoritmo calcula a energia de cada fluxo em sej/J segundo a equação 1, o valor em dolares e os indicadores em energia.

$$\text{Energia} = \text{Energia} \times \text{Transformidade} \quad (1)$$

Finalmente, a análise é apresentada ao usuário em uma nova página contendo as seguintes estruturas: tabela com os indicadores ESI, ELR, EMR, EYR, EIR, %R; tabela com os indicadores renováveis, não renováveis, energia importada, energia total, energia exportada, fração de fontes internas, importados menos exportados, razão exportados/importados, fração recursos renováveis, fração de recursos econômicos, fração de serviços importados, fração de recursos gratuitos, uso por unidade de área, uso por pessoa, população, capacidade de carga, capacidade de carga no padrão dos países desenvolvidos, razão do uso de eletricidade, combustível por pessoa; tabela de avaliação emergética (DEMÉTRIO, 2011); gráfico de assinatura ambiental - Fig. 3 - gerado a partir dos valores de energia dos fluxos pertencentes aos grupos de recursos renováveis, não renováveis, transformações internas e importados; gráfico IDH x ESI; gráfico de consumo de energia GDP U\$; gráfico EMR; gráfico ESI x EMR x EIR; gráfico ESI x %R; gráfico PIB; mapa temático das regiões brasileiras mostrando a distribuição espacial do ESI; mapa temático das regiões brasileiras mostrando a distribuição espacial do EIR. A Figura 3 apresenta o gráfico referente à assinatura ambiental do estado do Maranhão para o ano 2007. Os grupos, fluxos e recursos constantes da tabela 1 somente podem ser gravados no banco por um usuário administrador. O usuário comum tem permissão para cadastrar outros usuários comuns, projetos, análises e dados primários.

**Fig. 3.** Gráfico de assinatura ambiental do Estado do Maranhão para o ano 2007.

3.3 Camada de apresentação

A camada de apresentação foi desenvolvida com a linguagem de marcação de hipertexto XHTML e representa a interface com o usuário. Aspectos como usabilidade, facilidade de uso e tempo de carga nortearam a construção das páginas web. Face a isto, a *home page* do *website* permite acesso a todas funcionalidades do aplicativo. O mapa do Brasil e *hiperlinks* disponibilizados na página principal levam às análises emergéticas dos estados e regiões brasileiras, além de permitir consultas às análises de

todos os demais sistemas regionais e ainda a comparação entre três análises de um mesmo projeto ou de projetos distintos, enquanto que o menu principal constantemente visível a todas páginas oferece acesso completo ou parcial às tabelas do banco, segundo o tipo de usuário, e conteúdo diverso sobre sustentabilidade ambiental, a exemplo das informações a cerca de assinatura ambiental, pegada ecológica e exemplos e definições a respeito de indicadores em emergia. Uma outra funcionalidade acessada a partir do menu principal são os *links* para outros *sites* relacionados ao tema. Os dados primários de entrada são recebidos em elementos XHTML contidos em uma coleção de formulários construídos sob um container do tipo fichário de abas, em que cada aba é rotulada com o nome de um grupo e recebe os dados de entrada dos fluxos pertencentes àquele grupo. Ao digitar o valor de um recurso no componente Recursos Compartilhados, automaticamente esse valor será preenchido, através de uma função *javascript*, nos *boxes* correspondentes em seus respectivos fluxos. Um componente *combo box* abre uma lista *drop down* com os projetos já cadastrados para escolha daquele ao qual a análise atual será associada. Ao posicionar o dispositivo apontador sobre o código de um projeto presente na lista, um *hint* com o nome do sistema regional cadastrado pelo usuário aparece logo abaixo. O último formulário recebe também os dados de população, PIB, IDH e valor atualizado do dólar, os quais sofrem variação frequente. Esses dados são recolhidos e comunicados com a camada lógica para processamento. A Figura 4 mostra a idéia por trás desse componente da interface.

The screenshot shows a complex web form with multiple tabs and sections. The top navigation bar includes 'Home', 'Base de dados', 'Contabilidade ambiental', 'Indicadores', 'Links', and 'Logout'. The main content area is organized into several colored panels:

- Renováveis (Orange):** 'Recursos compart.' section with fields for 'Plataforma continental' (5.3), 'Área terrestre' (4.1), and 'Chuva (terra)'. Units are E+10 m2, E+11 m2, and E+10 Kcal/cm2/ano respectively.
- Energia quim. chuva (Blue):** Similar fields for 'Plataforma continental', 'Área terrestre', 'Chuva (terra)', 'Chuva (plataforma)', and 'Tava de evaporação'.
- Energia potên. chuva (Blue):** Fields for 'Área terrestre', 'Chuva (terra)', 'Altitude média', and 'Tava de vazão'.
- Ondas (Blue):** Fields for 'Litoral' and 'Abate das ondas'.
- Energia solar (Blue):** 'Seleção de projeto' dropdown menu showing a list of projects with a 'hint' for 'Sistema Regional da Nova Zelândia'. Fields for 'Plataforma continental', 'Área terrestre', 'Insolação', and 'Albedo'.
- Energia do vento (Blue):** Fields for 'Área terrestre', 'Densidade do ar', 'Veloc. média anual', 'Vento geostropico', and 'Drag coef'.
- Mare (Blue):** Fields for 'Plataforma continental', 'Medio da maris', 'Densidade', and 'Mares por ano'.
- Calor da terra (Blue):** Fields for 'Área terrestre' and 'Fluxo de calor'.

A 'Gravar' button is located at the bottom center of the form.

Fig. 4. Formulário de entrada de dados primários dos recursos.

3.4 Camada cliente

A camada cliente é representada pelo próprio *browser* utilizado pelo usuário. A fase de desenvolvimento leva em consideração testes realizados nos navegadores mais populares encontrados no mercado: *Internet Explorer*, *Mozilla Firefox*, *Google Chrome*, *Ópera* e *Safari*. De modo geral, algumas linhas de código a mais foram escritas considerando a especificidade na renderização de alguns elementos XHTML por parte de determinados navegadores.

4. Conclusão

A proposta deste trabalho é apresentar uma metodologia de análise emergética na internet para diagnóstico de sistemas regionais. O que levou às seguintes conclusões:

i) O aplicativo *on line* de 04 camadas apresentou uma arquitetura capaz de fornecer indicadores em emergia que possibilitem a leitura da sustentabilidade ambiental de um sistema regional qualquer, livre das restrições de tempo e espaço;

ii) Verifica-se como a informática, aliada a uma metodologia de cálculo, pode configurar-se como um instrumento a serviço do desenvolvimento sustentável de uma região;

iii) As tecnologias não proprietárias são excelentes ferramentas para o desenvolvimento de soluções voltadas para mensuração do impacto do modelo econômico sobre o meio ambiente;

iv) Um aplicativo na *web* facilita o uso, consulta e comparação de resultados por qualquer usuário e permite uma rápida propagação das informações;

v) A análise emergética traduzida por meio de estruturas como gráficos, tabelas e mapas temáticos permite aos usuários melhor compreensão a cerca dos resultados da análise;

5. Referencias

Battisti, J., 2003. Criando aplicações em 3, 4 ou n camadas. <http://www.juliobattisti.com.br/artigos/ti/ncamadas.asp>. Acessado em Fevereiro/2013.

Bellen, H. M. V., 2004. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. Ambiente & Sociedade. Vol. VII. Pág. 67.

Borrie, H. 2006. Dominando o firebird: uma referencia para desenvolvedores de bancos de dados. Ed. Ciencia Moderna Ltda. 959 p.

Demétrio, F. J. C., 2011. Avaliação de sustentabilidade ambiental do Brasil com a contabilidade em emergia. Universidade Paulista. Programa de Doutorado em Engenharia de Produção. São Paulo. 170 p.

Ponciano, N. J., Souza, P. M., Mata, H. T., 2008. Análise das externalidades negativas no meio ambiente e sustentabilidade na agropecuária. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco. Acre.

Odum, H. T., 1996. Environmental Accounting, Emery and Decision Makin. John Wiley, Elsevier, New York.

Ortega, E., 2002. Contabilidade e Diagnóstico de sistemas usando valores dos recursos expressos em emergia. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>. Acessado em Fevereiro/2013.

Zhao, S., Li, Z., Li, W., 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. Ecological Modelling. V. 185.