

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA DE MUNICÍPIOS

André Luis Bianchi¹ – andre.luis.bianchi@gmail.com

Sérgio Souza Dias² – sergio.dias@ceee.com.br

Fábio Adriano Berlitz² – fabiob@ceee.com.br

Gilnei Carvalho Ocácia³ – gilnei.ocacia@gmail.com

¹ Universidade Luterana do Brasil, Depto. de Engenharia Elétrica / Faculdade Senai de Tecnologia de Porto Alegre – FATEC – Núcleo de Eficiência Energética Senai – RS – Projeto Tesla

² Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE, Diretoria de Geração

³ Universidade Luterana do Brasil, Depto. de Engenharia Mecânica / Universidade Católica de Pelotas

Resumo. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar e aplicar uma série de indicadores para caracterizar o nível de auto-suficiência energética e orientar ações de comunidades visando a sustentabilidade. Esta caracterização é realizada através de indicadores que levaram em consideração: ações da sociedade, o uso da energia; os tipos de fontes energéticas disponíveis nas localidades e uma avaliação econômica para determinar o investimento ou não em gerações locais. Para a criação de novas alternativas de desenvolvimento, é necessário alterar as formas de gestão da sociedade, buscando-se a sustentabilidade regional através do uso de seus recursos naturais de uma forma mais racional. Para isto, foram criados indicadores que avaliam e orientam a construção de modelos regionalizados mais sustentáveis. Estes indicadores foram avaliados por profissionais ligados com a área de energia que resultou em pesos para cada um dos indicadores. Também foram definidas ações que se aplicadas tornariam a localidade mais auto-sustentável. A fim de validar a ferramenta, foram feitas cinco avaliações em municípios do Rio Grande do Sul. Os dados utilizados nos indicadores foram obtidos em bases públicas e todos os energéticos foram avaliados em uma situação hipotética considerando as ações de melhoria. O resultado evidenciado foi a facilidade de aplicação da ferramenta, bem como a considerável mudança nos índices se as ações de melhoria fossem aplicadas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Indicadores, Energia Renovável

1 – INTRODUÇÃO

Até a revolução industrial as fontes renováveis de energia, como a biomassa, a solar direta, a energia hidráulica e eólica, eram muito utilizadas e a partir de então foram substituídas pelo carvão. Em meados do século XX, o petróleo passou a ser utilizado em larga escala, vindo a constituir o principal energético usado pela humanidade. Estas trocas impulsionaram o desenvolvimento, porém, devido a serem energéticos fósseis não renováveis, trouxeram grandes prejuízos ambientais.

Além disso, por terem seus reservatórios concentrados e por serem consideradas baratas e inesgotáveis, não sendo sua finitude motivo de preocupação, motivaram o desenvolvimento dos modelos atuais de assentamentos urbanos, constituindo metrópoles e megalópoles, que cresceram de forma desordenada e caótica (BRISTOTI, 1990).

Qualidade de vida e desenvolvimento são tradicionalmente associados a consumos crescentes de energia. A atual visão de desenvolvimento requer que isto ocorra de forma sustentada em todas as suas dimensões. Dificuldades são encontradas, por isso, é necessário se estabelecer critérios técnicos objetivos, que auxiliem nas tomadas de decisão para definir as melhores formas de se gerar e utilizar a energia, isto para diferentes escalas de comunidades. A relevância deste trabalho está, justamente, em sua proposta de criar subsídios que apoiem a tomada de decisão, orientando o planejamento e mostrando as potencialidades de cada fonte e definindo indicadores para o uso sustentável da energia.

O presente trabalho trata da elaboração de uma ferramenta para “Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Energética em Municípios” e que teve como exemplo de aplicação, ou validação os municípios de São José do Norte, São Jerônimo, Canguçu, Santa Vitória do Palmar e Santo Antônio da Patrulha. O resultado do trabalho foi um indicador de sustentabilidade energética e os dados base para o trabalho são dados públicos, validados e atualizados nas comunidades estudadas. As ações de melhoria propostas foram aplicadas de forma hipotética e o resultado obtido foi uma alteração do indicador de sustentabilidade atual.

2 – METODOLOGIA

As etapas do trabalho foram: verificar o potencial energético de cada localidade, bem como as demandas energéticas locais; validar e atualizar os dados secundários pesquisados através de visitas realizadas junto aos municípios e instituições a fim; avaliar as alternativas de fontes energéticas por município, verificando os potenciais de troca de sistemas convencionais, por fontes renováveis, considerando alterações nos padrões de consumo, através de

ações de uso racional de energia; realizar a ponderação dos resultados a serem obtidos através de indicadores sócio-econômicos, energéticos e ambientais, estabelecendo o índice geral de sustentabilidade do município pesquisado; definir e simular a aplicação de ações que visem à melhoria desse índice; e, por fim, a elaboração de uma Ferramenta Multicritérios para a definição dessa série de indicadores bem como das ações a serem desenvolvidas, com o intuito de melhorar a sustentabilidade energética dos municípios.

O objetivo na definição dos indicadores foi relacionar o conceito de sustentabilidade às características que devem orientar a seleção de bons indicadores e as dimensões da sustentabilidade.

Conforme SACHS (1993), esses aspectos são definidos nas cinco dimensões da sustentabilidade, especificadas como segue:

1. **Sustentabilidade Social:** construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda, de modo a melhorar os direitos e as condições de amplas massas de população e a reduzir a distância dos padrões de vida classes sociais.
2. **Sustentabilidade Econômica:** locação e gestão mais eficientes dos recursos e por um fluxo regular de investimento público. A eficiência econômica deve ser avaliada considerando critérios mais macro-sociais do que somente por meio de critérios de lucratividade empresarial.
3. **Sustentabilidade Ecológica:** é obtida com a limitação do uso de combustíveis fósseis e de outros recursos facilmente esgotáveis e ambientalmente prejudiciais. Para isso, necessita-se aumentar a utilização das fontes renováveis de energia e reduzir o volume de resíduos através do incremento do uso racional dos recursos naturais e da reciclagem, além de intensificar as pesquisas e a definição de regras e instrumentos de garantia para proteção ambiental.
4. **Sustentabilidade Espacial:** propõe uma configuração rural e urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial de assentamentos humanos e das atividades econômicas.
5. **Sustentabilidade Cultural:** trata-se da utilização de sistemas rurais integrados de produção, devendo propor mudanças culturais que introduzam os conceitos de eco desenvolvimento e que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada sociedade.

Segundo WRI (1998), bons indicadores devem atender às seguintes características:

- Representatividade: representar com relevância o produto ou processo identificado;
- Comparabilidade: ser comparáveis tanto no espaço como no tempo;
- Coleta de dados: fontes confiáveis deverão existir para suprir os dados;
- Clareza e síntese: transmitir a informação de modo simples sendo a síntese do identificado;
- Previsão e metas: prever problemas visando soluções e ser instrumento para definição de metas.

Foram definidos os indicadores a serem utilizados e a seguir foi realizada uma consulta a 25 profissionais, de áreas cujas atividades estivessem relacionadas com o tema energia a fim de determinar a importância de cada indicador, resultando em um peso individual. Esses profissionais avaliadores atuam em empresas de produção, transmissão, distribuição e regulação de energia, em universidades e prefeituras, sendo: sete (7) engenheiros eletricitistas, cinco (5) engenheiros mecânicos, quatro (4) engenheiros civis, três (3) administradores de empresas, três (3) biólogos, dois (2) agrônomos e um (1) químico. Esta consulta foi feita visando avaliar os aspectos definidos nas cinco dimensões da sustentabilidade, especificados por SACHS (1993).

A proposta dos indicadores, apresentada aos profissionais consultados, contemplou parâmetros relacionados com ações da sociedade, com relação a utilização racional da energia; com o tipo de fonte energética, com o rendimento e a alteração ambiental que as fontes utilizadas geram; com o uso da energia e estão relacionados a viabilidade econômica de se alterar a matriz energética.

3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS

As localidades avaliadas, como primeira aplicação da ferramenta, são pequenos municípios, em termos de economia, mas com características peculiares em função de suas estruturas, tipos de relevo e vocações econômicas diferenciadas, assim como potenciais para algum tipo de fonte energética disponível, como, por exemplo: a biomassa, a eólica, o carvão, etc.

A caracterização dos municípios, Canguçu, Santa Vitória do Palmar, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo e São José do Norte, se dá no sentido de avaliação energética, analisando as características sócio-econômicas, no que diz respeito a renda, indicador de desenvolvimento e distribuição demográfica. Na agropecuária, se faz um apanhado das principais locais, sejam elas temporárias ou permanentes, o faturamento obtido tais culturas, além de uma avaliação dos rebanhos existentes no município. O consumo de energia é avaliado, tanto o de energia elétrica quanto o de combustíveis líquidos como o álcool, a gasolina e o diesel. Também são feitas simulações das possibilidades de geração de energia de forma local, visando a sustentabilidade energética do município.

Toda a energia avaliada, a fim de comparação, é convertida para uma unidade o megawatt hora (MWh).

Assim sendo os resultados foram os apresentados na figura 1 e tabela 1.

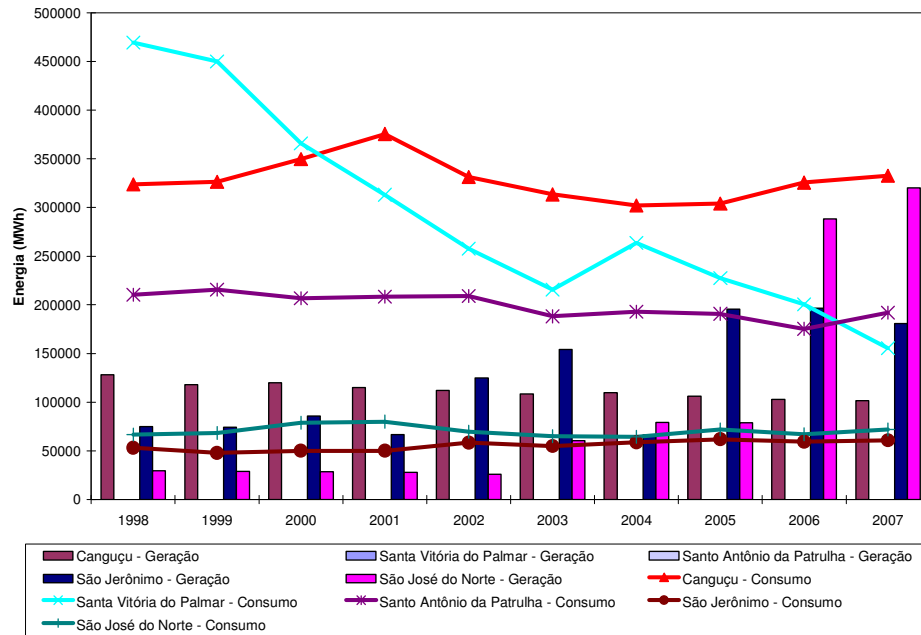


Figura 1 – Consumo e geração de energia por município.

Tabela 1. Relação Energia Renovável x Não Renovável

	Renovável	Não Renovável
Canguçu	31%	69%
Santa Vitória do Palmar	22%	78%
Santo Antônio da Patrulha	26%	74%
São Jerônimo	35%	65%
São Jose do Norte	46%	54%

4 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA

Na definição de indicadores para sistemas energéticos é importante levar em consideração as ações da sociedade relacionadas ao uso racional da energia, as fontes de energia disponíveis localmente e que tenham um potencial de uso interessante tecnicamente, avaliando seu rendimento e a alteração ambiental que suas utilizações geram. Além de avaliar se economicamente tal exploração é viável.

Assim, foram criados 11 (onze) indicadores de sustentabilidade energética, divididos em três áreas. A primeira é referente às Ações da Sociedade e Uso da Energia, trata da relação municipal com a energia, que diz respeito a programa de incentivo ao uso consciente da energia, a relação da energia consumida localmente, se é renovável ou não e se há planejamento em relação a zoneamento e projetos ambientais para o município. A segunda área se refere ao potencial de produção de energia local, se há nos municípios alguma fonte de energia que possa ser explorada, tal avaliação tem um cunho técnico, levando em conta as questões físicas e ambientais da localidade. Uma avaliação econômica da geração de energia local também se faz necessária e a terceira área discorre justamente sobre isto, avaliando se há necessidade em função de desenvolvimento e se o investimento na geração de energia não será difícil devido a falta de tecnologia e/ou mão-de-obra.

Os indicadores foram submetidos a avaliação dos profissionais ligados ao ramo da energia e isto resultou em um peso para cada indicador. Este peso é um multiplicador que será aplicado ao resultado obtido nas avaliações. Tais resultados obtidos para cada indicador no estudo de sustentabilidade energética sempre será: +1 (mais um), 0 (zero) ou -1 (menos um). Isto é feito para tornar a ferramenta de fácil aplicação.

Na aplicação dos indicadores, aqueles sobre a Sociedade e o Uso da Energia (I_A) são avaliadores da localidade, portanto aparecem apenas uma vez no escopo final. Já os indicadores de Fontes de Energia e Economia (I_B), avaliam as fontes de energia da localidade de forma individual, somando-se os resultados no final, ou seja, se a localidade possuir 5 (cinco) fontes de energia aproveitáveis, serão aplicados os indicadores para cada uma das fontes e os resultados somados. O produto da soma pelo peso resultará no valor do indicador. As equações 1 e 2 apresentam o cálculo dos índices.

$$I_A = V_{\text{INDICADOR}} \cdot P_{\text{INDICADOR}} \quad (1)$$

$$I_B = \left(\sum_{i=1}^n V_{IND_FONTE} \right) \cdot P_{INDICADOR} \quad (2)$$

Onde: I_A e I_B são os resultados dos indicadores, $V_{INDICADOR}$ e V_{IND_FONTE} são os valores dos indicadores (+1, 0 ou -1) e $P_{INDICADOR}$ o peso do indicador.

A Tabela 2 apresenta a organização dos indicadores que a seguir serão comentados de forma individual.

Tabela 2. Indicadores de Sustentabilidade Energética

Área	Indicadores	Peso
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69%
	Local = 1	
	Nacional / Estadual = 0	
	Não tem = -1	7,36%
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	
	Renovável Maior = 1	
	Iguais = 0	3,19%
	Não Renovável Maior = -1	
	3. Comitê Gestor - Zoneamento e Projeto Ambiental	
Fontes de Energia	Zoneamento e Projeto Ambiental = 1	10,22%
	Zoneamento = 0	
	Nenhum = -1	
	4. Potencial Local - Se é renovável	16,91%
	Renovável = 1	
	Não renovável = 0	
	Não tem = -1	5,62%
	5. Características Geofísicas - Possibilidade de Esgotamento	
	Solo, terreno, material – suficientemente disponível no local = 1	
	Solo, terreno, material – disponível regionalmente = 0	5,62%
	Solo, terreno, material – possível esgotamento = -1	
	6. Geração de Resíduos	
Economia	Balanco positivo = 1	7,78%
	Balanco zero = 0	
	Balanco negativo = -1	
	7. Impacto Ambiental	8,82%
	Aceitável, benefícios ambientais maiores = 1	
	Agressivo, com benefícios ambientais = 0	
	Agressivo, sem benefícios ambientais = -1	11,63%
	8. Demanda Atual	
	Geração local atende toda a demanda atual = 1	
	Geração local não atende toda a demanda = 0	11,16%
	Não há Geração local = -1	
	9. Tecnologia	
	Local ou Regional = 1	11,63%
	Nacional = 0	
	Importada = -1	
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) – CME	11,16%
	Baixo (tecnologia e MO disponível) = 1	
	Moderado (MO disponível) = 0	
	Alto (tecnologia e MO indisponíveis) = -1	11,16%
	11. Custo Marginal de Operação – CMO	
	Baixo (tecnologia e MO disponível) = 1	
	Moderado (MO disponível) = 0	
	Alto (tecnologia e MO indisponíveis) = -1	

4.1 – Indicadores relacionados à Sociedade e Uso da Energia

A seguir são descritos os indicadores 1, 2 e 3.

1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia – indica se a comunidade estimula a informação e o conhecimento sobre a necessidade do uso racional e eficiente das energias. Se há programas locais o valor do indicador é 1 (mais um), caso na cidade só existam os informativos estaduais ou nacionais o valor é 0 (zero), ou se não houver nenhum tipo de informativo ou campanha o valor é -1 (menos um).

2. Relação Energia Renovável x Não Renovável – indica a proximidade dos padrões desejados de consumo energético, ou seja, o uso de energia proveniente de fontes renováveis. Se a energia consumida localmente tiver um percentual maior proveniente de fontes renováveis o valor do indicador é 1 (mais um), se for a metade, 50%, o valor é 0 (zero), ou se percentual maior de energia proveniente de fontes não-renováveis o valor é -1 (menos um).

3. Zoneamento e Projeto Ambiental – este indicador busca avaliar organização municipal em relação a zonas urbanas, comerciais, industriais e rurais e isto irá refletir no desenvolvimento de projetos e ações que visem o uso sustentado da energia nas localidades. A questão ambiental também é contemplada, pois sem ela é impossível pensar em sustentabilidade. Existindo projetos de zoneamento e projetos ambientais municipais o valor do indicador é 1 (mais um), se existir apenas um projeto local de zoneamento, o valor é 0 (zero), ou não existir projetos de zoneamento e ambiental o valor é -1 (menos um).

4.2 – Indicadores relacionados Fontes de Energia

Como é possível que existam mais de um potencial interessante tecnicamente nas localidades, os indicadores 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 deverão ser repetidos para cada tipo de fonte energética. Por exemplo, se existirem potenciais de geração a carvão e com soja, os indicadores acima citados serão empregados duas vezes. A seguir seguem as descrições dos indicadores 4, 5, 6 e 7.

4. Potencial Local – avalia se existe potencial energético local passível de exploração, ou sendo explorado. Este indicador não leva em conta apenas os potenciais renováveis, mas sim qualquer potencial. Se o potencial local referido é renovável o valor do indicador é 1 (mais um), caso o potencial seja não renovável o valor é 0 (zero), se não houver ou não estiver sendo explorado o valor é -1 (menos um). Considera-se menos um, pois o balanço energético local continuará negativo, ou seja, não haverá sustentabilidade.

5. Características Geofísicas – O indicador avalia se no município há condições de ter a geração de energia com o potencial local, seja ela através de solo adequado para o plantio, área disponível para a planta geradora – espaço e autorização ambiental, além do material necessário para geração, se este não irá se esgotar com o uso. Se as características são suficientemente disponíveis no local o valor do indicador é 1 (mais um), caso haja a necessidade de buscar apoio nos municípios vizinhos o valor do indicador é 0 (zero) e se houver a possibilidade do esgotamento do energético o valor é -1 (menos um), ou seja, não haverá sustentabilidade.

6. Geração de Resíduos (sólidos, NOx, SOx, CO2, lixo tóxico e radioativo, etc.) – indica o impacto da geração de energia no efeito estufa, chuva ácida, emissão de material particulado na atmosfera, etc.. Se existe a geração de resíduos sem o tratamento adequado (filtragem ou reciclagem) o balanço é negativo e o valor será -1 (menos um), caso exista o tratamento adequado ou não houver geração de energia local o valor será 0 (zero) e se não houver resíduos o valor é 1 (mais um).

7. Impacto Ambiental – se o balanço de carbono é positivo, a captura de carbono no processo de geração de energia é maior que a emissão, ou se a instalação energética não invade áreas utilizadas por plantações ou comunidades já instaladas, pode-se dizer que o impacto ambiental é aceitável, que os benefícios ambientais são maiores que os prejuízos. Assim o valor do indicador é 1 (mais um). Se existir um impacto razoável, com prejuízos a comunidade, porém há um retorno maior para o meio ambiente, o indicador tem valor 0 (zero). Caso o impacto da geração local traga problemas sociais e não tenha um retorno ambiental satisfatório, -1 (menos um) é o valor do indicador.

4.3 – Indicadores relacionados à Economia

8. Demanda Atual – o indicador avalia se o investimento em fontes energéticas locais estabelece um balanço positivo em termos energéticos, ou seja, possibilite a sustentabilidade energética do município. Se a geração local atender toda a demanda atual o valor do indicador é 1 (mais um). Caso a geração local atender parcialmente a demanda o valor é 0 (zero). Não sendo possível ou não existindo a geração local o indicador tem valor igual a -1 (menos um).

9. Tecnologia – o indicador trata da facilidade encontrada para a aquisição dos equipamentos necessários para implantação das novas gerações energéticas. Caso os equipamentos possam ser encontrados na própria localidade ou dentro do estado o valor do indicador é 1 (mais um). Sendo um equipamento de fabricação nacional ou não existindo geração o valor é 0 (zero). O indicador tem valor -1 (menos um), quando o equipamento necessário tem que ser importado.

10. Custo Marginal de Expansão - CME – indica a viabilidade econômica do investimento na geração de energia elétrica. Isto por que o foco do trabalho e da CEEE é a geração de eletricidade. O CME é o custo por MWh de referencia estipulado pela Aneel para investimentos em geração de energia elétrica. Se o custo do empreendimento for inferior ao CME o valor do indicador será 1 (mais um), caso o custo seja superior ao CME, o valor é 0 (zero). Não havendo possibilidade de geração local o valor do indicador é -1 (menos um).

11. Custo Marginal de Operação - CMO – indica a viabilidade econômica do investimento quanto a manutenção e operação. Isto por que o foco do trabalho e da CEEE é a geração de eletricidade. O CMO é o custo por MWh de referencia estipulado pela Aneel para manutenção e operação de empreendimentos em geração de energia elétrica. Se o custo de M & O do empreendimento for inferior ao CMO o valor do indicador será 1 (mais um), caso o custo seja superior ao CMO, o valor é 0 (zero). Não havendo possibilidade de geração local o valor do indicador é -1 (menos um).

5 – APLICAÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA

Os indicadores desenvolvidos foram testados utilizando os dados das cidades de Canguçu, Santa Vitória do Palmar, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo e São José do Norte, a fim de verificar sua aplicabilidade e identificar pontos de interesse que possam ser trabalhados no intuito de buscar a sustentabilidade energética.

Assim sendo, a seguir são apresentadas as discussões sobre cada informação avaliada e o valor de cada indicador. E também são apresentados os resultados da aplicação dos indicadores para a situação atual e avaliando uma situação hipotética em que todas as ações de sustentabilidade fossem tomadas.

5.1 – *Discussão sobre os Indicadores de Sustentabilidade Atuais*

Os indicadores são divididos em três áreas, conforme colocado anteriormente, Sociedade e Uso da Energia, Fontes de Energia e Economia, porém a avaliação destes indicadores tem dois momentos bem distintos, o tratamento dos dados da primeira área e o tratamento dos dados da segunda e terceira que dependem uns dos outros.

Dentro da primeira área observa-se que a criação de programas que visem o uso sustentado da energia, normalmente parte dos órgãos governamentais ou autarquias ligadas ao poder público, como, por exemplo, o programa da Eletrobrás de eficiência energética Procel. Atualmente as concessionárias de energia elétrica têm investido em campanhas de conscientização e de modernização de instalações consumidoras, visando à eficiência energética, porém nos municípios do interior do Estado estas campanhas e programas ainda não têm um impacto muito grande.

Por isso, grande parte dos municípios avaliados ficou com valor -1 (menos um) no indicador 1. Santo Antônio da Patrulha obteve índice 1 (mais um) pois possui programas que tratam da eficiência energética em propriedades rurais produtoras de água-ardeente.

O uso da energia renovável é menor em todos os cinco municípios avaliados, por isso, o valor obtido no indicador 2, em todas as cidades é -1 (menos um). São José do Norte tem um percentual bem próximo do considerado satisfatório, a energia consumida localmente proveniente de fontes renováveis tem um percentual pouco menor, 46%, que a energia de origem não renovável devido ao uso de lenha.

Quanto à questão zoneamento e projeto ambiental, todas as cidades avaliadas já estão com seu plano de zoneamento feito ou sendo concluído. Porém somente três cidades apresentaram projetos de ordem ambiental.

Na avaliação dos indicadores relacionados a área de Fontes de Energia e à Economia, por ser possível que existam mais de um potencial interessante tecnicamente nas localidades, os indicadores deverão ser repetidos para cada fonte energética. Por isso, as avaliações dos itens correm em paralelo, sendo contado o valor dos indicadores para cada tipo de fonte. Os resultados são somados para que se obtenha o valor geral do indicador.

Avaliando desta forma, garante-se que todas as formas de energia sejam contempladas na análise dando uma importância/peso maior para os indicadores voltados a geração de energia e a questão econômica que envolve a aplicação, uma vez que seus valores gerais serão proporcionais a quantidade de possibilidades de geração disponível na localidade.

Na avaliação dos Potenciais Locais, observaram-se os potenciais energéticos passíveis de exploração, ou sendo explorado. Dentre aqueles potenciais de origem agrícola, como lenha, soja, casca de arroz, milho, etc., só foram contados os que tinham potencial considerável para exploração. Os aproveitamentos de energia provenientes de ventos, energia eólica, do Sol, para aquecimento (C) e geração de eletricidade (E) e de dejetos de animais para produção de biogás foram avaliados em todas as localidades. Os demais aproveitamentos dependeram do potencial, se eram ou não significativos.

Na avaliação da situação atual o indicador 4 grande parte dos municípios tiveram um peso negativo no indicador por não explorar as fontes de forma estratégica, ou seja, ser uma ação do poder público. Por exemplo, a lenha é usada como energético em todas as localidades, porém de forma pontual, não sendo o seu uso incentivado ou tendo um aproveitamento de larga escala, como em uma planta para geração de eletricidade. Em Canguçu o uso da lenha é bastante grande nos secadores de fumo, por isso o indicador 4 teve valor mais um para o item lenha. Em São Jerônimo, o carvão teve valor zero no indicador 4 por ser não renovável.

No indicador Características Geofísicas, observou-se que há condições em todos os municípios de ter a geração de energia com o potencial local. Salvo em Santo Antônio da Patrulha que a exploração do carvão pode acarretar prejuízos a cidade e a região. Não se considerou a possibilidade de esgotamento do carvão, pois as reservas são suficientes para manter uma geração nos moldes da usina de São Jerônimo por mais de 1000 anos.

Nos resultados referentes ao indicador 6, geração de resíduos, considerou-se o impacto da geração de energia de São Jerônimo com tratamento adequado para os resíduos gerados, em Canguçu considerou-se o uso da lenha como sendo não poluente e nos demais municípios não há geração. Por isso, o valor do indicador foi 0 (zero), existe o tratamento adequado ou não há geração de energia local.

A geração com base no carvão mesmo com os devidos filtros e tratamento de resíduos, tem seu impacto ambiental, seja na produção ou na extração do carvão. Por isso, no indicador sete São Jerônimo teve peso -1 (menos um) no carvão. Nos demais itens e nos outros municípios considerou-se que o indicador tem valor 0 (zero), por não haver geração.

O balanço positivo em termos energéticos, avaliado pelo indicador 8 que é a sustentabilidade energética do município, tem um resultado por localidade, não sendo avaliado fonte a fonte. A geração em atual em São Jerônimo atende toda a demanda atual, então o valor do indicador é mais um. Em Canguçu o uso da lenha seria como se geração local atendesse parcialmente a demanda, assim o valor é 0 (zero). Como não ainda não havia no período do histórico avaliado uma extração constante da madeira em São José do Norte o valor do indicador também foi considerado zero. A figura 2 apresenta um comparativo dos municípios em relação a média histórica de dez anos de energia consumida e a gerada nas localidades.

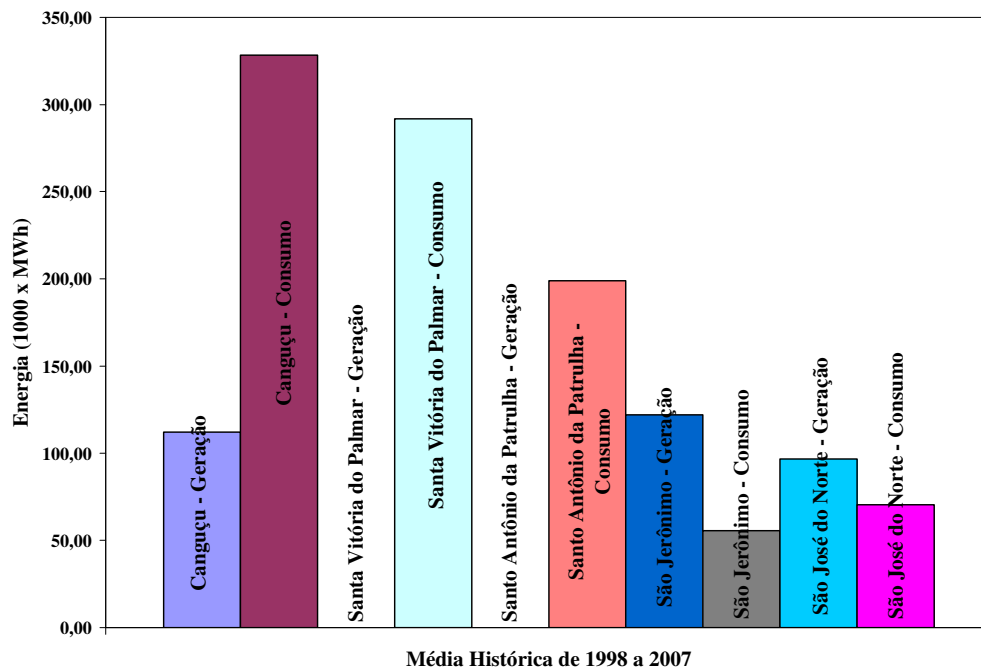


Figura 2 – Comparativo dos municípios em relação à energia consumida e a gerada nas localidades.

A demanda reprimida nas localidades avaliadas, quando existe, é devida à falta de estrutura energética em regiões agrestes dos municípios. Conforme informações locais existem demandas que não são atendidas devido às características sócio-econômicas e não por inviabilidade técnica ou de suprimento. Porém, em Canguçu a instalação de agroindústrias ficou inviabilizada devido à falta de condições energéticas.

Como na situação atual os municípios não têm geração de energia, indicador Tecnologia é zero em todos os itens.

Em São Jerônimo como já existe uma geração de energia o valor do indicador Custos de Instalação e Operação para o carvão é mais um, pois a tecnologia e mão-de-obra necessárias são obtidas na própria localidade. Nos demais municípios como não existem gerações, o valor é 0 (zero).

Totalizando os indicadores para cada município o índice geral de sustentabilidade obtido foi baixo, devido a não utilização dos potenciais energéticos locais. A tabela 3 apresenta os resultados gerais atuais.

5.2 – Ações de melhoria propostas para elevação dos índices de Sustentabilidade dos Municípios

Os indicadores estabelecidos apontam as deficiências em relação a utilização da energia e o aproveitamento das potencialidades locais de geração. Assim sendo, neste item são propostas ações de melhoria para a situação energética atual, que refletirão em uma elevação no índice de sustentabilidade energética das localidades.

5.2.3 – Ações para o uso eficiente da energia:

1. Investir em campanhas educacionais locais que visem a utilização racional da energia. Por exemplo: o uso quando necessário dos equipamentos elétricos, a utilização de transporte coletivo, manutenção de equipamentos elétricos (ex.: troca da borracha da porta da geladeira), automotores (ex.: regulagem do motor), etc.

Tabela 3. Índice de sustentabilidade energética atual dos municípios de Canguçu, Santa Vitória do Palmar, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo e São José do Norte.

Área	Indicadores	Peso (%)	Canguçu	Santa Vitória do Palmar	Santo Antônio da Patrulha	São Jerônimo	São José do Norte
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69	-1	-1	1	-1	-1
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	7,36	-1	-1	-1	-1	-1
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental	3,19	0	1	1	1	0
Fontes de Energia	4. Potencial Local	10,22	-5	-5	-5	-4	-5
	5. Características Geofísicas	16,91	5	5	3	5	5
	6. Geração de Resíduos	5,62	0	0	0	-1	0
	7. Impacto Ambiental	5,62	0	0	0	-1	0
Economia	8. Demanda Atual	7,78	0	-1	-1	1	0
	9. Tecnologia	8,82	0	0	0	0	0
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) - CME	11,63	0	0	0	0	0
	11. Custo Marginal de Operação - CMO	11,16	0	0	0	1	0
	Índice de Sustentabilidade Geral	100,00	0,38	0,26	-0,02	0,93	0,38

- Campanhas de conscientização quanto ao uso de equipamentos com melhor rendimento energético. Por exemplo: eletrodomésticos com selo A do Procel, carros com melhor rendimento, motores de alto rendimento, etc.
- Incentivo fiscal para produtos com melhor rendimento energético. Produtos com sele A do Procel, com maior eficiência energética ou com menor geração de resíduos que os modelos comerciais similares devem ter uma taxa fiscal diferenciada para incentivar o uso pelos consumidores e o desenvolvimento por parte dos fabricantes.
- Instituição de uma ou mais comissões locais que visem o desenvolvimento e avaliação de projetos e programas objetivando a sustentabilidade. Seja no âmbito social, industrial, comercial ou público. Como uma estrutura multidisciplinar, que represente todos os seguimentos de interesse local como indústria, comércio, poder público e sociedade, esta (s) comissão (ões) deve (m) ter autonomia para propor e vetar projetos municipais ou regionais.
- Investir na utilização de geração local com base em fontes renováveis. O uso de fontes renováveis deve levar em consideração, principalmente, o impacto ambiental, seguido pelo social e por fim o econômico. Ou seja, sendo a substituição de um tipo de fonte não renovável ou com geração distante da localidade, deve-se observar o impacto ambiental local e regional antes de tudo. Caso o impacto seja considerável o seu uso deve ser descartado.
- Programa de apoio à substituição de insumos energéticos não renováveis por fontes renováveis. Por exemplo, a substituição de óleo em caldeiras por biomassa ou biodiesel, o aquecimento de água por painéis solares, etc.
- Desenvolvimento de programas de incentivo ao uso dos resíduos que tenham potencial energético, dentro da mesma instalação geradora, seja ela: residencial, comercial ou industrial. Por exemplo, utilizar a casca do arroz como fonte de calor no processo ou dentro da planta, utilizar os resíduos orgânicos como adubo, etc.

5.3.4 – Aplicação das Ações

A aplicação das ações de melhoria foi feita para que se observasse a variação do índice de sustentabilidade do município, se todas as propostas fossem postas em prática.

Dentro da primeira área, a criação de programas locais que incentivem o uso sustentado da energia, resultaria nos cinco municípios avaliados em pontuação máxima no indicador 1. Assim como a elaboração de programas de conscientização e de proteção ambiental, resultaria em peso máximo no indicador 3.

A tabela 4 apresenta o uso da energia renovável versus a não renovável com as mudanças propostas em todos os cinco municípios avaliados.

Tabela 4. Relação Energia Renovável x Não Renovável

	Renovável	Não Renovável
Canguçu	68%	32%
Santa Vitória do Palmar	73%	27%
Santo Antônio da Patrulha	86%	14%
São Jerônimo	95%	5%
São Jose do Norte	96%	4%

Os percentuais de energia consumida apresentam parcelas de energia não renovável devido ao consumo de combustíveis líquidos que são na maior parte de base fóssil. E no caso de Canguçu, como já há um consumo de lenha considerável a alteração do panorama anterior para o novo, percentualmente não tem uma mudança significativa, porém isto não reflete o montante de energia e sim uma comparação entre o antes e o depois.

Na avaliação dos Potenciais Locais, considerou-se a utilização de todos eles. Os aproveitamentos de energia provenientes de ventos, energia eólica, do Sol, para aquecimento (C) e geração de eletricidade (E) e de dejetos de animais para produção de biogás foram avaliados em todas as localidades. Os demais aproveitamentos dependeram do potencial, se era ou não significativo.

No indicador Características Geofísicas, observaram-se condições de geração de energia com o potencial local. Cada localidade tem suas características para ampliação das possibilidades de geração como em Santo Antônio da Patrulha, que tem áreas de solo bom para o plantio de cana-de-açúcar, milho e mandioca para produção de álcool. E uma produção alta de arroz, bem como uma estrutura agroindustrial de beneficiamento, ou seja, produz uma grande quantidade de casca. Ainda em Santo Antônio da Patrulha há a possibilidade da exploração do carvão, porém esta pode acarretar prejuízos a cidade e a região.

Em Canguçu há no solo uma tolerância para o plantio de mandioca para álcool e soja para biodiesel. Além de o solo caracterizar a localidade como zona preferencial para plantio de arroz. Ainda na região é crescente a silvicultura e o plantio de fumo. Apesar deste último não ser indicado para o solo do município.

Em Santa Vitória do Palmar e São José do Norte os solos são muito parecidos, sendo o arroz a principal cultura das duas cidades e o solo é próprio para isto. O milho e a cana-de-açúcar também podem ser alternativa para o município de São José do Norte na produção de álcool, porém não são interessantes para Santa Vitória do Palmar.

Em São Jerônimo, além do carvão, o solo é interessante para o plantio de arroz, tem regiões possíveis de desenvolvimento das culturas da soja, do milho, cana-de-açúcar e mandioca.

Nos resultados referentes ao indicador 6, geração de resíduos, considerou-se o impacto da geração de energia de São Jerônimo com tratamento adequado. Para os demais municípios considerou-se o uso das fontes energéticas com as devidas precauções para a não geração de resíduos, na caso do biogás, ou apenas a que não exista resíduo como nos aproveitamentos eólico e solar.

A geração com base no carvão mesmo com os devidos filtros e tratamento de resíduos, tem seu impacto ambiental, seja na produção ou na extração do carvão. Por isso, no indicador sete São Jerônimo e Santo Antônio da Patrulha tiveram peso -1 (menos um) no carvão. Nos demais itens e nos outros municípios considerou-se que o indicador tem valor 1 (mais um), aceitável com benefícios ambientais maiores.

O balanço positivo em termos energéticos, avaliado pelo indicador 8 que é a sustentabilidade energética do município, tem um resultado por localidade, não sendo avaliado fonte a fonte. Assim, com as gerações propostas implantadas todos os balanços ficariam positivos. A figura 3 apresenta um comparativo dos municípios em relação à energia consumida e a gerada nas localidades.

Quanto ao indicador Tecnologia, considerou-se o seguinte:

- Geração de energia utilizando calor, com energéticos como lenha, carvão, casca de arroz e coletores solares, o valor do indicador é 1 (mais um). Considerou-se que os equipamentos possam ser encontrados na própria localidade ou dentro do estado;
- Para geração de biogás considerou-se o apoio das entidades governamentais de amparo tecnológico agroindustrial, pois elas fornecem informações necessárias para o desenvolvimento dos biodigestores sem a necessidade de importação de tecnologia. Assim, o valor do indicador é 1 (mais um);
- Quanto a geração de eletricidade utilizando painéis fotovoltaicos e sendo estes importados, o valor do indicador ficou -1 (menos um);
- Na geração de energia elétrica através de aerogeradores, se levou em conta a implantação de empresas fabricantes dos equipamentos no país, porém não há nenhuma delas no estado e isto fez com que o valor do indicador fique igual a 0 (zero).

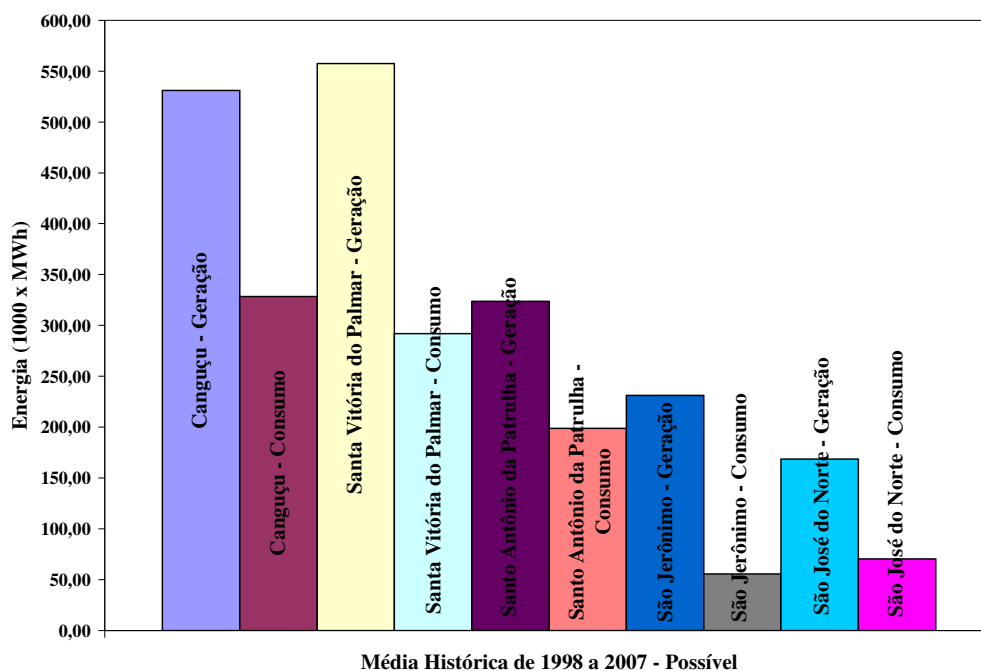


Figura 3 – Comparativo dos municípios em relação à energia consumida e a gerada nas localidades – com as ações de melhoria.

Em São Jerônimo como já existe uma geração de energia o valor do indicador Custos de Instalação e Operação para o carvão é mais um, pois a tecnologia e mão-de-obra necessárias são obtidas na própria localidade. Apesar de ainda não existir a extração de carvão em Santo Antônio da Patrulha, considerou-se o mesmo valor de São Jerônimo.

Nos demais casos, se avaliou como sendo a tecnologia e mão-de-obra necessária obtida na própria localidade, com valor do indicador igual a 1 (mais um), para os energéticos lenha, casca de arroz, coletores solares (solar C) e biogás. E sendo necessário importar tanto tecnologia quanto M.O., para as gerações baseadas em soja (biodiesel), solar E (geração de eletricidade) e eólica (eletricidade), o valor do indicador ficou -1 (menos um).

O Custo Sócio-econômico, indicador 12, que reflete o impacto da geração de energia na economia local, teve na utilização da lenha o valor é 0 (zero), pois considerou-se que seu uso não acarreta alteração significativa. Em São Jerônimo o indicador também teve peso zero devido ao fato de já existir a geração, contudo em Santo Antônio da Patrulha o valor do indicador foi -1 (menos um) por se considerar que haverá alteração, principalmente devido a extração do energético.

O uso da soja como fonte para geração de energia pode acarretar em um aumento do óleo vegetal comestível, portanto o valor do indicador para ela foi -1 (menos um).

Quanto ao uso da casca do arroz, da energia solar, eólica e biogás não se considerou que seu uso possa afetar na economia local, por isso, o valor do indicador é 1 (mais um).

Totalizando os indicadores para cada município, o índice geral de sustentabilidade ficou elevado em função da utilização dos potenciais energéticos locais. A tabela 15 apresenta os resultados gerais atuais.

Tabela 5. Índice de sustentabilidade energética atual dos municípios de Canguçu, Santa Vitória do Palmar, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo e São José do Norte – com Ações de melhoria.

Área	Indicadores	Peso (%)	Canguçu	Santa Vitória do Palmar	Santo Antônio da Patrulha	São Jerônimo	São José do Norte
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69	1	1	1	1	1
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	7,36	1	1	1	1	1
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental	3,19	1	1	1	1	1
Fontes de Energia	4. Potencial Local	10,22	5	5	4	4	5
	5. Características Geofísicas	16,91	4	5	4	4	5
	6. Geração de Resíduos	5,62	4	4	2	2	4
	7. Impacto Ambiental	5,62	5	5	3	3	5
Economia	8. Demanda Atual	7,78	1	1	1	1	1
	9. Tecnologia	8,82	1	2	1	1	2
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) - CME	11,63	1	1	1	1	1
	11. Custo Marginal de Operação - CMO	11,16	-1	1	1	1	1
	Índice de Sustentabilidade Geral	100,00	5,49	6,75	5,22	5,22	6,75

6 – RESULTADOS

Os resultados obtidos foram os Indicadores de Sustentabilidade Energética e as Ações de Melhoria na busca da sustentabilidade. A tabela 6 apresenta os indicadores de sustentabilidade elaborados e a tabela 7 traz as ações de melhoria propostas.

Tabela 6. Indicadores de Sustentabilidade Energética

Área	Indicadores
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental
Fontes de Energia	4. Potencial Local
	5. Características Geofísicas
	6. Geração de Resíduos
	7. Impacto Ambiental
Economia	8. Demanda Atual
	9. Tecnologia
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) - CME
	11. Custo Marginal de Operação - CMO

7 – CONCLUSÃO

Os resultados obtidos foram satisfatórios no que diz respeito ao desenvolvimento da ferramenta, ou seja, os indicadores de sustentabilidade energética. Tais indicadores abrangem de forma clara a simples as áreas do uso de energia na sociedade local, a situação local em relação às fontes aproveitáveis e a questão econômica, verificando se há viabilidade em investir em fontes locais para geração de energia. Servem, também, para apresentar de forma clara as vantagens das melhorias feitas em prol da sustentabilidade, auxiliando na tomada de decisões sobre o tema.

Na aplicação da ferramenta em municípios, há a necessidade de se fazer uma avaliação nos dados sócio-econômicos, dados de consumo de energéticos na localidade e pesquisar sobre as fontes e potencialidades para a geração de energia dentro da própria cidade. Grande parte destes dados são públicos, o que facilita a aplicação da ferramenta, porém é muito importante que se atualize os dados na própria localidade.

A geração de energia local, com aproveitamento das fontes ali disponíveis, faz com que o balanço energético se torne positivo na maioria dos casos. Além de, se for dada preferência para utilização de fontes renováveis, o percentual de energia utilizada/gerada na localidade passa a ser ambientalmente correto, e que é muito importante não

só para o município como para a humanidade. É claro que nem toda energia renovável gerada será utilizada na própria localidade, mas o balanço energético da relação geração/consumo poderá se tornar positivo.

Tabela 7. Ações de Melhoria para Sustentabilidade Energética Municipal

	Ação de Melhoria
1	Investir em campanhas educacionais locais que visem a utilização racional da energia. Por exemplo: o uso quando necessário dos equipamentos elétricos, a utilização de transporte coletivo, manutenção de equipamentos elétricos (ex.: troca da borracha da porta da geladeira), automotores (ex.: regulagem do motor), etc.
2	Campanhas de conscientização quanto ao uso de equipamentos com melhor rendimento energético. Por exemplo: eletrodomésticos com selo A do Procel, carros com melhor rendimento, motores de alto rendimento, etc.
3	Incentivo fiscal para produtos com melhor rendimento energético. Produtos com sele A do Procel, com maior eficiência energética ou com menor geração de resíduos que os modelos comerciais similares devem ter uma taxa fiscal diferenciada para incentivar o uso pelos consumidores e o desenvolvimento por parte dos fabricantes.
4	Instituição de uma ou mais comissões locais que visem o desenvolvimento e avaliação de projetos e programas objetivando a sustentabilidade. Seja no âmbito social, industrial, comercial ou público. Como uma estrutura multidisciplinar, que represente todos os seguimentos de interesse local como indústria, comércio, poder público e sociedade, esta (s) comissão (ões) deve (m) ter autonomia para propor e vetar projetos municipais ou regionais.
5	Investir na utilização de geração local com base em fontes renováveis. O uso de fontes renováveis deve levar em consideração, principalmente, o impacto ambiental, seguido pelo social e por fim o econômico. Ou seja, sendo a substituição de um tipo de fonte não renovável ou com geração distante da localidade, deve-se observar o impacto ambiental local e regional antes de tudo. Caso o impacto seja considerável o seu uso deve ser descartado.
6	Programa de apoio à substituição de insumos energéticos não renováveis por fontes renováveis. Por exemplo, a substituição de óleo em caldeiras por biomassa ou biodiesel, o aquecimento de água por painéis solares, etc.
7	Desenvolvimento de programas de incentivo ao uso dos resíduos que tenham potencial energético, dentro da mesma instalação geradora, seja ela: residencial, comercial ou industrial. Por exemplo, utilizar a casca do arroz como fonte de calor no processo ou dentro da planta, utilizar os resíduos orgânicos como adubo, etc.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Nº 488, de 29 de Agosto de 2002.** Publicado no D.O. de 30.08.2002, seção 1, p. 107, v. 138, n. 168.

BRISTOTI, A. Energia, Economia e Ecologia: influência da integração do Cone Sul. In: SEITENFUS, V.M.P., DE BONI, L.A. (orgs.). Temas de Integração Latino-americana. Porto Alegre: Vozes, 1990.

CAMARGO, O., SILVA, F.J.L., CUSTODIO, R.S., GRAVINOI, N. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria de Energia, Minas e Comunicações - SEMC, 2002.

CEEE – COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2005-2007.** Disponível em <<http://www.cee.com.br>>. Acesso em 10 de outubro de 2009.

DIAS, S. S., SANTOS, J.C., OCÁCIA, G.C. **Power System Based on Renewable Energy Sources for the Rural Electrification in Rio Grande do Sul – Brazil.** Anais... In: World Renewable Energy Congress VII, Cologne, 2002.

FEE - FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER. Disponível em <<http://www.fee.rs.gov.br>>. Acesso em 25 de setembro de 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 12 de setembro de 2009.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia – 2005 a 2011.** Brasília: 2005.

MIRANDA, A.B.; TEIXEIRA, B.A.N. **Escolha coletiva de indicadores de sustentabilidade para sistemas urbanos de água e esgoto.** Texto mimeo. Porto Alegre: 2004.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética: Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2006. 188 p.

SACHS, I. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento.** São Paulo: Vértice, 1986.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: Desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Nobel, 1993.

TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil. Recife: UFPE, 2000.

VILAS BOAS, Cíntia de Lima. **Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos.** Brasília: UnB, 2005.