Uma proposta de incorporação de indicadores de ecoeficiência ao setor termelétrico brasileiro a carvão mineral

Arthur Nery da Costa Michelini, Adm. (UFSC) arthurmichelini@hotmail.com
Rafael Feyh Jappur, Esp. (UFSC) jappurrafael@hotmail.com
Paulo Maurício Selig, Dr. (UFSC) selig@eps.ufsc.br
Alexandre de Ávila Lerípio, Dr. (UFSC) aleripio@terra.com.br

Resumo:

Este trabalho apresenta uma perspectiva do setor termelétrico, em especial daquele que utiliza o carvão mineral para geração de calor, destacando os principais impactos ambientais de suas atividades. Posteriormente é proposto um conjunto de indicadores de ecoeficiência aplicados ao setor em questão, apresentando esta abordagem como uma ferramenta gerencial no auxílio da conciliação entre ganhos econômicos e ambientais.
Palavras chave: Termeletricidade, Meio Ambiente, Ecoeficiência.

1. Introdução

A relação entre desenvolvimento econômico e disponibilidade de energia é clara e amplamente difundida entre nossos meios de comunicação. Este estreita relação veio à tona em face das mudanças significativas ocorridas na segunda metade do século XX. O incremento industrial das décadas de 60 e 70 e o crescimento populacional exacerbado trouxeram a necessidade de se rever a capacidade de suporte do sistema elétrico nacional.

Questões relacionadas à infra-estrutura estratégica de um país devem contar com um enfoque preventivo, e não corretivo. Isso se justifica no sentido de que se um aumento na geração é desejado, este já deveria ter sido abordado antes que ocorressem os problemas de desabastecimento (apagões) de 2001 e o conseqüente racionamento de energia para certas regiões.

Se olharmos para trás veremos que essa situação já vinha sendo configurada há algumas décadas e que, por falta de planejamento do setor público, veio a tomar tais proporções que hoje estamos sofrendo. Segundo Januzzi (2001), o planejamento energético exige visão, transparência, estratégia e, obviamente, competência técnica. Estes fatores não foram considerados pelo governo, uma vez que o crescimento industrial e populacional citado anteriormente, aliado ao maior consumo de água para irrigação, trouxeram consigo a queda no nível de diversos reservatórios de usinas hidrelétricas no país. Isso poderia não ser tão grave se não tivéssemos nossa matriz energética tão dependente da geração hidráulica. Segundo a ANEEL (2004), o Brasil hoje produz aproximadamente 76% de sua energia através das hidrelétricas e, em face do longo período que estes empreendimentos levam para ser instalados, o país se viu em uma situação insustentável do ponto de vista de suprir no curto prazo a crescente demanda existente.

No intuito de resolver tais problemas o governo tomou, mesmo que tardiamente, algumas medidas de curto prazo e outras de longo prazo. Para suprir essa falta de energia imediatamente, foi aprovado em 2001 o PPT (Programa Prioritário de Termeletricidade), que será detalhado posteriormente, e também foi instituída uma nova configuração para o setor elétrico no país, o chamado Novo Modelo do Setor Elétrico. Em resumo este modelo traz a necessidade de a iniciativa privada investir em geração e também busca instituir uma espécie de "pool" de compradores de energia, mecanismo planejado para funcionar como um equalizador de preços entre as várias geradoras e também se comportando como um agente de

constante demanda por energia. A entrada da iniciativa privada no negócio de energia em um país de proporções continentais como o Brasil, revela a tendência de grandes investimentos e de um aquecimento no mercado das empresas da energia. Também de acordo com a ANEEL (2004), a participação da termeletricidade vem crescendo vertiginosamente, o que demonstra uma necessidade de atenção maior ao setor que vai prover boa parte da nossa energia e, conseqüentemente, do nosso desenvolvimento.

Porém, na era do livre comércio as empresas estão expostas a novos fatores de competitividade e sobrevivência dentro de seus mercados. Segundo Moreira (2001), dentre esses novos fatores, destaca-se o fato da empresa ter que contemplar o fator ambiental dentro das definições estratégicas dos negócios, onde a gestão ambiental é vista como um diferencial competitivo e um fator de melhoria organizacional. O crescimento das práticas de gestão ambiental já é um fato e, diante disso, a geração de energia não poderia ser diferente, especialmente se analisarmos o alto poder impactante de instalações termelétricas.

Dentro desse contexto de necessidade de energia, desregulamentação de mercado e o inevitável crescimento da geração termelétrica, este trabalho se propõe a mostrar algumas maneiras pelas quais as empresas que geram energia através da queima do carvão possam mensurar, utilizando os mais avançados e difundidos instrumentos gerenciais, o real desempenho ambiental de suas atividades, trazendo à tona, uma proposta de indicadores de ecoeficiência aplicados aos diferentes tipos de impactos decorrentes da geração termelétrica.

2. Uma Perspectiva do Setor Termelétrico

O processo de uma termelétrica, independente de seu combustível, segue quase sempre uma mesma lógica. É gerado calor através da queima de algum tipo de combustível, este calor aquece a água que gerará vapor sob alta pressão. Esse vapor constitui a energia mecânica para movimentar as turbinas que, através de geradores, a transforma em energia elétrica. A termeletricidade é a maior fonte geradora de energia no mundo. Aproximadamente 60% da energia gerada provem de fontes térmicas, incluída a termo nuclear.

Por ser um país ainda muito dependente da geração hidráulica, como citado anteriormente, temos sofrido uma séria ameaça de desabastecimento diante do crescimento vertiginoso da demanda e da relativa estagnação da geração de energia. Isto teve como agravante o fato de que a matriz hidráulica tem, como uma de suas principais características, o fato de possuir um longo período necessário à sua instalação e, frente à premência de tempo, o governo se viu obrigado a prover a energia necessária através de fontes que contassem períodos de instalação mais rápidos e também que pudessem ser alocadas próximos aos centros consumidores, fato que facilitaria a disponibilidade de energia se considerarmos o outro gargalo existente no setor, a baixa quantidade de linhas de distribuição.

Lançado em 2001 pelo governo federal, o Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT) vem tentando suprir a escassez de energia através da rápida instalação de 49 usinas termelétricas movidas a gás natural e a óleo combustível. Segundo dados da ANEEL (2004), a participação da termeletricidade na matriz energética brasileira representa hoje 19% do que é gerado no país. Apesar destes números o setor apresenta uma perspectiva de crescimento proporcional que ultrapassa todos os outros tipos de matrizes energéticas. Considerando os empreendimento de geração que estão em construção temos que 51,5% da capacidade em MW é constituída de termelétricas. Já sob o enfoque dos empreendimentos outorgados, ou seja, aqueles que ainda não começaram sua construção mas já as tem autorizada, temos que 44,5% desta capacidade é da termeletricidade.

Um fator que tem alavancado este crescimento é a disponibilidade de gás natural através da implantação, principalmente, do gasoduto Brasil-Bolívia. O aumento na oferta desse precioso

combustível para as termelétricas veio ao encontro da necessidade imediata de energia em nosso país, onde o que se configura agora são as previsões que já indicam que as termelétricas a gás constituirão o maior mercado consumidor deste combustível em nosso país. Outro fator decisivo para o setor foi a recente utilização da biomassa para a geração e co-geração de energia. Várias empresas estão utilizando seus próprios resíduos para gerar energia e também para fornecer vapor para outras instalações. Este nicho de mercado pode ser sentido na industria sucro-alcoleira, onde usinas de álcool estão queimando seu excessivo bagaço de cana e, como isso, tornando-se auto suficientes em energia e ainda vendendo energia para suas concorrentes. Ficam claros os avanços tecnológicos do setor de termeletricidade, tanto no que tange às inovações de processos produtivos quanto no uso de novos combustíveis e estes devem, obrigatoriamente, ser considerados na expansão de nosso parque gerador.

Os dados acima deixam claro que a geração de energia por meio de processos térmicos tende, inevitavelmente, a crescer. Porém esse incremento do setor traz consigo a necessidade de uma atenção especial para a questão ambiental, pois se por um lado os impactos na instalação de termelétricas são bem menores que aqueles gerados na construção das hidrelétricas, quando falamos da operação destas instalações a realidade muda completamente. Os principais impactos ambientais decorrentes da geração de energia térmica través da queima do carvão, serão descritos no item posterior.

3. Os Principais Aspectos e impactos Ambientais de Termelétricas a Base de Carvão

A geração de energia através da queima do carvão mineral, objeto de análise deste trabalho, gera uma série de impactos sobre o meio ambiente no qual as instalações estão inseridas. Estas alterações podem ser sentidas nos meios hídrico, edáfico e atmosférico. Segundo Hinrichs (2003), devido ao fato de utilizar a queima de combustíveis fósseis em seu processo de geração de calor, os impactos no meio atmosférico são os mais significativos, ocorrendo, no entanto, impactos não desprezíveis nos demais meios citados.

Segundo Stamm (2003), considerando os processos comumente utilizados pelas termelétricas, podemos identificar alguns macro sistemas que seriam responsáveis por boa parte dos impactos ambientais provenientes de usinas termelétricas movidas a carvão mineral, seriam eles: o sistema de combustível (carvão), o sistema de combustão, o sistema de refrigeração e o sistema de tratamento de água. Para efeito didático utilizaremos a classificação dos impactos gerados em cada uma destas etapas de acordo com seu estado físico, os caracterizando em três classes de aspectos: resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas.

3.1. Emissões Atmosféricas

As emissões atmosféricas provenientes de usinas termelétricas são compostas por material particulado, gases e elementos menores. Segundo ELETROSUL (1990), a composição das emissões atmosféricas são fortemente influenciadas por três fatores: a qualidade do carvão utilizado na queima, os processos de beneficiamento a que este carvão é submetido e o método de combustão adotado pela usina.

O material particulado é composto por pequenas partículas sólidas que podem ser entendidas como as cinzas oriundas da combustão. São gerados dois tipos de cinzas: uma é a chamada cinza pesada, que fica retida no fundo das caldeiras e, portanto, não compõem os efluentes aéreos e a outra seria a cinza leve, que acompanha a saída dos gases da caldeira. A quantidade emitida dos dois tipos de cinzas depende diretamente do teor de cinzas do carvão utilizado e do processo de combustão adotado. Segundo ELETROSUL (1990), nas caldeiras mais modernas temos que até 85% das cinzas são leves e isto vem a ser benéfico pelo fato de que os precipitadores eletrostáticos já são amplamente utilizados neste tipo de instalação. Estes

equipamentos, segundo Hinrichs (2003), retêm até 99% das cinzas leves expelidas da caldeira, gerando assim uma grande quantidade de um subproduto que inclusive é comercializável com industrias cimenteiras. Mesmo com toda esse eficiência de retenção, em unidades de grande porte o restante do material particulado que passa pelo equipamento tem suas conseqüências negativas. Os efeitos do material particulado sobre o homem estão diretamente associados ao tamanho das partículas. Quando estas são muito pequenas (menor que 0,5 microns) elas ficam depositadas no pulmão, onde as substancias tóxicas presentes nas cinzas, como os metais pesados, serão gradativamente absorvidas pelo sistema circulatório.

Dentre os gases eliminados no processo de combustão, o dióxido de enxofre se destaca como sendo um dos mais impactantes para o meio ambiente. Este gás reage com o oxigênio presente na atmosfera, se transformando em SO3 que por sua vez, reage com as partículas de água presentes na atmosfera. O resultado deste ciclo de reações é a originação do H2SO4 que precipita na forma da chuva ácida. Um agravante para esta questão é quando acontece a sinergia entre o material particulado e o SO2. O material particulado age como um catalisador para a reação que origina o ácido sulfúrico, tornando mais fácil e rápida a formação da chuva ácida e maximizando seus efeitos nocivos. Os efeitos no homem deste gás vão desde irritações agudas no trato respiratório até problemas cardiopulmonares. Os principais efeitos da chuva ácida, segundo HINRICHS (2003) podem ser sentidos na acidificação de lagos, com a conseqüente mortandade de peixes, além de danos à vegetação e às florestas.

O CO2 também é um gás resultante da queima de combustíveis fósseis como o carvão mineral. Seu principal efeito, quando em concentrações mais elevadas, recai sobre o aquecimento global, o chamado efeito estufa. Outra fonte de emissão de CO2 relevante sob o aspecto quantitativo é aquela originada pelos automóveis e meio de locomoção que utilizam a queima de combustíveis fósseis.

Outros gases gerados pelo processo de combustão do carvão seriam os óxidos de nitrogênio (NOx), os poluentes hidrocarbonetos (HC), os monóxidos de carbono e os oxidantes fotoquímicos. Segundo ELETROSUL (1990) estes gases são estudados em conjunto, pois diferente do material particulado e do SO2, estão intimamente ligados na sua formação ou como precursores uns dos outros. Os efeitos destes gases sobre o meio ambiente não são tão graves como aqueles causados pelo SO2 e o material particulado. Tanto os óxidos de nitrogênio quanto os hidrocarbonetos geram, através de reações químicas, os chamados oxidantes fotoquímicos. Além de contribuir como SO2 na formação das chuvas ácidas, estes oxidantes apresentam efeitos nocivos no que tange a possíveis irritações nos olhos e garganta e também a perturbação da visibilidade, essa última especialmente sentida em grandes centros urbanos ou em regiões muito saturadas destes tipos de gases.

Junto com os gases também são emitidos os elementos menores. Apesar de ainda pouco estudadas, estas substâncias podem ter seu efeito nocivo pelo fato de possuírem metais pesados em sua composição. Como dito anteriormente, existe uma certa incerteza sobre os efeitos desses poluentes na qualidade ambiental do contexto onde são encontrados. Segundo ELETROSUL (1990), estes efeitos podem se manifestar por diferentes modos, podendo ser inalados, absorvidos pela pele ou depositado em animais e vegetais e posteriormente, consumidos pelo homem. Como efeitos sobre o homem podemos citar influencias sobre o sistema nervoso e alterações fisiológicas importantes, como a ventilação dos pulmões e o transporte de oxigênio pela hemoglobina. Vale reiterar que estes efeitos só podem ser sentidos em ambientes com alta saturação destes gases.

Toda a emissão de gases sofre a influência direta de fatores como as condições de relevo e metereologia que, aliadas à altura da chaminé, podem contribuir para a dispersão dos gases expelidos durante o processo de combustão.

3.2 Efluentes Líquidos

Já em se tratando de efluentes líquidos teríamos quatro principais fontes poluidoras: as drenagens do estoque de carvão, o arraste hidráulico de cinzas, o sistema de refrigeração e o sistema de tratamento de água.

Os impactos advindos da estocagem de carvão constituem-se de efluentes das drenagens dos pátios no caso de chuvas. Esse efluente carrega consigo um elevado número de sólidos em suspensão e geralmente possui um baixo PH. Além destas características, esse efluente é composto por vários metais pesados como o ferro, o boro, o arsênio e o cadmio, decorrência da oxidação das piritas e dos próprios componentes lixiviados do carvão armazenado.

Nos sistemas de arraste hidráulico de cinzas existem dois fatores determinantes no potencial poluidor deste efluente: o PH alcalino presente na sua composição e a solubilização de seus elementos quando em contato com a água de arraste. Devido ao fato de possuírem grandes extensões em suas bacias de decantação, existe a lixiviação de seus elementos, inclusive os metais pesados, que contaminam o solo e também o lençol freático da área atingida, estendendo seus efeitos sobre os animais e plantas que, se considerados os efeitos cumulativos dos metais pesados, podem vir a se tornar graves.

O sistema de tratamento de água é composto, inicialmente, dos processos de floculação e decantação. Segundo ELETROSUL (1990), existe o descarte de lodos destas etapas contendo resíduos sólidos originados desta primeira etapa de tratamento. Uma parte dessa água tratada é utilizada para fins industriais diversos como lavagens das instalações, enquanto o restante passa pelo processo de desmineralização, que visa o fornecimento de água desmineralizada para os ciclos térmicos, onde serão transformadas em vapor para movimentar as turbinas. Neste processo de desmineralização, onde ocorrem reações químicas de trocas aniônicas, são gerados os efluentes líquidos das lavagens dos trocadores e, mais ocasionalmente, ocorre a substituição e o posterior descarte das resinas já saturadas utilizadas nas reações anteriormente citadas.

Já os efluentes líquidos provenientes do sistema de refrigeração, possuem seu poder impactante no que tange à temperatura com que estes são devolvidos aos corpos de água, podendo causar mortandade de peixes e de alguns tipos de vegetais.

3.3 Resíduos Sólidos

Segundo Stamm (2003), grande parte dos resíduos sólidos gerados em uma usina termelétrica a carvão é constituída pelas cinzas pesadas eliminadas no processo de combustão. Com o arraste hidráulico de cinzas, prática comum entre as usinas brasileiras, este resíduo sólido passa a compor um efluente líquido, que tem suas conseqüências ambientais conforme descritas anteriormente.

Os demais resíduos sólidos advêm, principalmente, de sucatas, resíduos das atividades de manutenção das usinas e de embalagens de produtos químicos utilizados no processo de tratamento da água.

4. A Ecoeficiência

A ecoeficiência, segundo *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (2003*)*, é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao tempo que reduz progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra.

Ter a ecoeficiência como estratégia produtiva significa combinar desempenho econômico e desempenho ambiental para criar e promover valores com menor impacto ambiental. Dentro desta prerrogativa, que autores como DeSimone & Popoff (1997), Lehni (2000), Lerípio (2001) e Almeida (2002), relatam em seus trabalhos que a inserção de alguns elementos de ecoeficiência nos processos produtivos podem melhorar o desempenho da organização. Os elementos propostos pelos autores, resumem-se aos seguintes: redução do consumo de materiais com bens e serviços; redução do consumo de energia com bens e serviços; redução da emissão de substâncias tóxicas; intensificação da reciclagem de matérias; maximização do uso sustentável de recursos renováveis; prolongamento da durabilidade dos produtos e agregação de valor aos bens e serviços.

Segundo Holliday, C.; Schmidheiny, S. e Watts, P. (2002), muitos são os motivos pelos quais as organizações avaliam sua Ecoeficiência. Aí se incluem o monitoramento e a documentação do desempenho e do progresso, a identificação e a priorização de oportunidades de melhorias, assim como a localização de possíveis economias de custos e outros benefícios relacionados a Ecoeficiência.

A OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*) (1998), define que a avaliação da Ecoeficiência deve ser obtida através da divisão do *output* (o valor dos produtos e serviços produzidos por uma empresa, por um setor ou pela economia como um todo) pelo *input* (a soma das pressões ambientais geradas pela empresa, pelo setor ou pela economia como um todo).

A Ecoeficiência, para Lerípio (2001), é uma função que contempla dois critérios básicos: agregação e valor ao negócio e aspectos ecológicos do processo e do produto. De acordo com Almeida (2002), Uma forma de se indicar a Ecoeficiência é pela relação entre unidade de valor do produto ou serviço e a unidade de impacto ambiental. A figura 1, ilustra a fórmula para calcular o índice de Ecoeficiência que foi proposto pelo WBCSD.

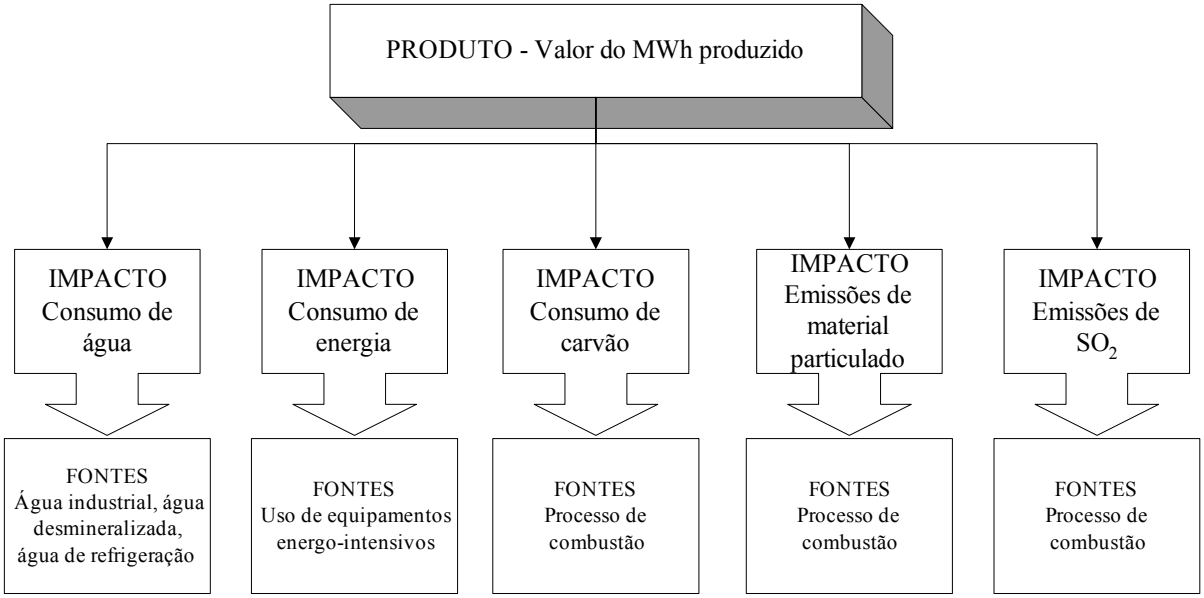
$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Valor do Produto ou Serviço}}{\text{Impacto Ambiental}}$$

Fonte: (Adaptado de Holliday, C.; Schmidheiny, S. e Watts, P. , 2002)

Figura 1 – Fórmula para cálculo do índice de ecoeficiência

Basicamente, Segundo Holliday, C.; Schmidheiny, S. e Watts, P. (2002), Aplicando essa equação básica, as empresas têm condições de calcular de várias maneiras a Ecoeficiência. A escolha dos indicadores dependerá das necessidades específicas de cada setor e empresa.

De acordo com as definições apresentadas para a ecoeficiência, serão propostos a seguir cinco indicadores que estão relacionados a alguns dos principais impactos gerados por usinas termelétricas a carvão mineral. A figura 2 busca ilustrar o cálculo do índice de ecoeficiência, relacionando-o aos principais impactos ambientais decorrentes da atividade em estudo. São apresentadas, na última linha da figura, as fontes geradoras mais significativas dentro do processo termelétrico a carvão mineral.



Fonte: os autores

Figura 2 – Índice de ecoeficiência da atividade termelétrica e suas principais fontes geradoras de impactos

Como expressa a figura 2, várias são as frentes de análise para a determinação da ecoeficiência em empreendimentos termelétricos movidos a carvão mineral. Temos, como descrito anteriormente, uma certa predominância de aspectos gerados no processo de combustão do carvão, evidenciando que melhorias neste sentido poderiam surtir efeito em vários tipos de impactos gerados. O uso de equipamentos que consomem uma grande quantidade de energia poderia ser justificado pelo elevado número de motores e bombas que ficam permanentemente ligados durante a operação destas instalações. Já a água consumida sofre, além da sua transformação em vapor, com conseqüente perda para a atmosfera, um grande uso nas atividades de refrigeração de vários dos equipamentos anteriormente citados e na limpeza das instalações das usinas.

6. Conclusão

Este trabalho buscou apresentar alguns fatos que caracterizam a perspectiva de crescimento da geração de energia, em especial daquela obtida através da queima de combustíveis fósseis. Posteriormente foram propostas algumas maneiras pelas quais as empresas que geram energia, através da queima do carvão, possam mensurar o seu desempenho em termos de ecoeficiência. O estudo dos aspectos e impactos ambientais decorrentes deste tipo de instalação revelou-se como instrumento chave na busca do direcionamento a ser aplicado aos indicadores de ecoeficiência ora apresentados.

A utilização de indicadores de ecoeficiência, como os propostos, reverte-se como um instrumento importante de análise e planejamento das atividades termelétricas, pois ela visa agregar valor aos bens e serviços, reduzir o consumo de materiais, reduzir a emissão de substâncias tóxicas, a intensificação da reciclagem dos resíduos gerados e a maximização do uso sustentável de recursos renováveis, trazendo, portanto, ganhos sob a ótica econômica e principalmente na complexa relação destes empreendimentos termelétricos com o meio ambiente que os cercam.

7. Referências

ALMEIDA, FERNANDO. (2002). O Bom Negócio da Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

ANEEL. (2004). Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica – Disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicações/capacidadebrasil/fontesdeenergia.asp? - consulta realizada em 15/04/2004.

DESIMONE, I. D.; POPOFF, F. (1997). *Eco-efficiency: The Business Link to Sustainable Development*. Londres, Cambrige: Massachusetts Institute of Techonology (MIT).

ELETROSUL, (1990). Diretrizes ambientais para Usinas Termelétricas a carvão mineral nacional. Versão Preliminar, Florianópolis, SC, Brasil, 314 p.

HINRICHS, Roger A.; MERLIN, Kleinbach (2003). Energia e meio ambiente – tradução da 3. ed. norte-americana.; [tradução técnica Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello]. –São Paulo: Pioneira Thomson Learning.

HOLLIDAY, C.; SCHMIDHEINY, S. e WATTS, P. Cumprindo o Prometido: Casos de Sucesso de Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: Campos, 2002.

JANNUZZI, Gilberto De Martino. Planejando a Crise Energética. Newsletter Ambiente Brasil - Disponível em http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&contéudo=./energia/click/planejamento.html, consulta realizada em 15/04/2004.

LERIPIO, A. A. (2001). GAIA – Um Método de Gerenciamento de Aspectos e Impactos Ambientais. Tese de Doutoramento. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Programa de Pós-Graduação em engenharia de Produção – PPGEP, Florianópolis, SC, Brasil.

LEHNI, M. (2000). *Eco-efficiency: Creating More Vallue with Less Impact.* Genebra: World Business Council for Sustainable Development – WBCSD.

MOREIRA, M. Suely. (2001) - Estratégia e Implementação de Sistema de Gestão Ambiental – Modelo ISO 14000. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.

OECD – Organization for Economic Cooperation and Devolopment. (1998). Council Recommendation on Improving Ethical Conduct in Public service. Paris: OECD.

STAMM, Roger H. (2003). Método de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em Projetos de Grande Porte: Estudo de Caso de uma Usina Termelétrica. Tese de Doutoramento. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Programa de Pós-Graduação em engenharia de Produção – PPGEP, Florianópolis, SC, Brasil.