

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA DENTRO DO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS

Thais Aya Hassan Inatomi (1); Miguel Edgar Morales Udaeta (2)

(1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – e-mail: thais.inatomi@poli.usp.br

(2) Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP)
Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (GEPEA-USP) - e-mail: udaeta@pea.usp.br

RESUMO

A necessidade de mitigação de impactos ambientais relacionados à obtenção de energia e a busca por sustentabilidade geram discussões mundiais, que envolvem interesses ambientais, sociais, políticos e econômicos. O Planejamento de Recursos Integrados (PIR) aplicado ao planejamento energético possibilita a diminuição de custos completos e impactos ambientais e sociais. O presente trabalho descreve como os impactos ambientais de quatro fontes de energia, renováveis e não renováveis - termelétrica, hidrelétrica, eólica e solar fotovoltaica - podem ser mitigados através da utilização de Planejamento Integrado de Recursos.

Palavras-chave: Planejamento Integrado de Recursos (PIR), Impactos Ambientais.

1. INTRODUÇÃO

O impacto ambiental gerado durante a obtenção de energia vem sendo discutido mundialmente, mediante a conscientização da gravidade da questão.

O Planejamento Integrado de Recursos é uma ferramenta para se atingir as metas que vêm sendo estabelecidas em conferências internacionais que tem como foco central a mitigação dos impactos ambientais provocados pela busca do desenvolvimento econômico.

As concentrações de gases do efeito estufa vêm sendo discutidas desde de 1992, por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Com a criação do Protocolo de Kyoto foi estabelecido que parte dos países desenvolvidos devem atingir uma redução média de 5% nas emissões dos gases do efeito estufa durante o período de 2008 a 2012. Países em desenvolvimento, apesar de isentos dos compromissos quantificados, devem seguir o princípio de responsabilidade comum, visto que o aquecimento global é responsabilidade de todos os países.

A busca da sustentabilidade requer planejamento e inserção de novas fontes de energia, que sejam renováveis e impactem o mínimo possível no meio ambiente.

2. SETOR ENERGÉTICO E SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade é um tema atualmente muito discutido em vários segmentos do meio acadêmico. Isso ocorre devido à conscientização por meio de pesquisas científicas de que o impacto ambiental promovido pela humanidade para o desenvolvimento das nações pode se tornar o limite desse mesmo

desenvolvimento, além de causar danos tanto reversíveis e custosos a longo prazo, como irreversíveis à humanidade e ao mundo.

Inúmeros são os impactos ambientais provocados por ações antropogênicas, entretanto, neste trabalho, serão enfocadas apenas as relações entre o aspecto de obtenção de energia e os impactos ambientais gerados.

Atualmente, o desenvolvimento sustentável é visto como uma necessidade mundial, uma ferramenta para que as gerações futuras tenham condições de sobreviver.

A sustentabilidade abrange várias dimensões: política, social, técnico-econômica e ambiental, sendo que o setor energético está conectado a todas estas dimensões, pois nelas gera impactos benéficos ou maléficos.

“Os níveis de suprimento energético e a sua infra-estrutura interagem biunivocamente com o desenvolvimento sócio-econômico, e conseqüentemente impactam o meio ambiente e portanto a sua sustentabilidade” (Udaeta,1997). A possibilidade de desenvolvimento sustentável no setor energético é portanto dinâmica (por ser afetada por questões sócio-econômicas, recursos e fontes, e meio ambiente), e implica em respostas das dimensões social, econômica, política e ambiental.

Segundo Udaeta (1997), os seguintes aspectos poderiam ser identificados numa política energética baseada no desenvolvimento sustentável:

- Garantia de suprimento, através da diversificação das fontes, novas tecnologias e descentralização da produção de energia;
- Uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos;
- Custo mínimo da energia;
- Valor agregado a partir dos usos, gerados pela e na otimização dos recursos;
- Custos reais na energia, contemplando impactos ambientais e sociais, devido a represamento, extração, produção, transmissão e distribuição, armazenamento, e uso das energias negociadas no mercado, inclusive definindo métodos específicos de internalização (das externalidades).

Os impactos ambientais gerados pela obtenção de energia interferem enormemente no desenvolvimento sustentável, e o entendimento deles se faz primordial para a análise de implementação de projetos e planejamentos energéticos.

O Planejamento de Recursos Integrados (PIR) se insere nesse contexto como sendo uma ferramenta poderosa para a mitigação de impactos ambientais. Entretanto, antes de discutir o papel do Planejamento de Recursos Integrados no setor energético em relação aos impactos ambientais, faz-se necessário apresentar algumas formas de obtenção de energia renováveis e não renováveis, focando em seus impactos ambientais.

Várias são as fontes para obtenção de energia elétrica, entre elas as hidrelétricas, carvão, petróleo, fissão, biomassa, solar, eólica, geotérmica, fusão, hidrogênio, ondas, térmica das marés, marés, óleos vegetais, álcool, gás natural. Serão apresentados a seguir os impactos ambientais provenientes de termelétricas, hidrelétricas, energia eólica, e energia solar.

3. OBTENÇÃO DE ENERGIA E OS IMPACTOS AMBIENTAIS

A preocupação com os impactos ambientais vem da crescente conscientização de que a vida na Terra necessita dos recursos naturais para se manter em equilíbrio.

Ao mesmo tempo em que o homem precisa de energia elétrica para seu desenvolvimento, ele precisa encontrar formas para que essa geração não degrade o meio ambiente, que é o grande gerador dos recursos naturais e de importância vital.

Segundo Goldemberg (2003), as agressões antropogênicas ao meio ambiente se tornaram significantes após a Revolução Industrial, e particularmente no século XX, devido ao aumento populacional e ao grande aumento no consumo *per capita*, principalmente nos países industrializados.

Após a Revolução Industrial, iniciou-se uma exploração desenfreada dos recursos naturais, utilizando-se tecnologias em larga escala para obtenção de energia, sem preocupações ou conhecimento das consequências disso. A preocupação maior era alcançar o crescimento econômico e tecnológico, e aumentar de modo geral oferta e mercado.

Atualmente, o preço deste desenvolvimento é conhecido: os impactos ambientais gerados são alvos de discussões internacionais para que sejam contidos e, se possível, restaurados.

Segundo Goldemberg (2003), os impactos ambientais podem ser:

- Locais - poluição urbana do ar, poluição do ar em ambientes fechados;
- Regionais – chuva ácida; ou
- Globais – efeito estufa, desmatamento, degradação costeira e marinha.

Adicionando a estes impactos outros relacionados à poluição sonora, impacto sobre a flora e fauna, nota-se então a relação entre impactos ambientais e problemas sócio-econômicos gerados, problemas com saúde, dentre outros.

3.1 TERMELÉTRICAS

As termelétricas convencionais produzem energia a partir da queima em caldeira de carvão, óleo combustível ou gás natural. As usinas nucleares são consideradas termelétricas, porém usam materiais radioativos, que por fissão geram energia elétrica.

Numa termelétrica convencional, o calor, produzido pela queima dos combustíveis em caldeira, aquece a água que circula numa rede de tubos, e produz vapor. Este vapor movimenta as pás de uma turbina, que ligada a um gerador produz energia elétrica. O vapor é resfriado por um condensador e volta a rede de tubos da caldeira, reiniciando o ciclo.

Em geral, as termelétricas são instaladas próximas a leitos de rios ou mar, pois a água é utilizada no processo de condensação do vapor. Isto acarreta na elevação da temperatura da água onde termelétricas são instaladas, pois esta é devolvida mais quente, o que pode comprometer a fauna e a flora da região, além de aumentar também a temperatura média local.

As usinas termelétricas geram energia a partir da queima de combustíveis, e são “vorazes consumidoras de diesel ou carvão, e importantes fontes de gás carbônico e óxidos de nitrogênio e de enxofre, poluentes que acentuam o efeito estufa e acarretam chuvas ácidas” (Favaretto, 1999).

A energia consumida pelo homem, globalmente, provém em aproximadamente 80% da queima de combustíveis fósseis, tal como o carvão, petróleo e gás natural (Costa, 2005).

A utilização maciça desses recursos, além de provocar o esgotamento dessas fontes energéticas, é a maior responsável pela emissão de gases tóxicos e poluentes, que alteram o clima mundial, acidificam águas e causam danos à saúde.

A obtenção de eletricidade por meio de combustíveis fósseis é a principal fonte de óxidos de enxofre (SO_x , SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x , NO e NO_2), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e particulados (entre eles o chumbo Pb) (Goldemberg, 2003).

Segundo Goldemberg (2003), “85% do enxofre lançado na atmosfera provém da queima de combustíveis fósseis, assim como 75% das emissões de CO_2 , principal responsável pelo efeito estufa”.

3.1.1 Impactos ambientais das emissões de gases

O aquecimento global é um dos principais impactos das emissões de gases na atmosfera. Gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio troposférico (O_3), e clorofluorcarbonos (CFCs), absorvem a radiação infravermelha criada quando a luz visível do sol bate na terra. Essa absorção e re-irradiação impedem que parte do calor seja devolvido ao espaço, causando o aumento da temperatura na superfície da Terra (Ottinger, 1991).

A emissão de CO_2 , principal contribuinte ao aquecimento por efeito estufa, começou a aumentar nos anos de 1800 com a conversão de florestas em área para agricultura, mas houve uma aceleração grande a partir de 1950, devido principalmente a combustão de combustível fóssil (Ottinger, 1991).

Em 2001 a Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publicou relatório onde conclusões acusavam que a temperatura média da superfície subiu de 0,4 a 0,8°C a partir de 1860, que o nível dos oceanos subiu de 10 a 20 centímetros no século XX, que a precipitação de chuvas em muitas regiões continua aumentando, a cobertura de neve e gelo sobre os continentes continua decrescendo, e que está havendo mudanças nos padrões de circulação da atmosfera bem como aumento do número de eventos climáticos extremos (Goldemberg, 2003).

A figura abaixo avalia comparativamente as emissões de poluentes lançados na atmosfera em função de algumas formas de geração de eletricidade.

3.1.2 Acidificação das águas

A acidificação das águas é proveniente da presença de ácidos como o sulfúrico (H_2SO_4) e o nítrico (HNO_3) formados na atmosfera, em função da queima de combustíveis fósseis e os elementos liberados na queima: dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses podem ser levados pelo vento a distâncias de até mil quilômetros do emissor, e causar chuvas ácidas em locais bem distantes da fonte, sendo considerado então um problema regional.

“O dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio causam danos por meio de dois mecanismos:

Precipitação seca: ocasionando danos à vegetação e às construções;

Precipitação úmida: quando dissolvidos na água das chuvas ou em vapores d’água atmosféricos.

A luz solar, a fuligem e os resíduos de metais podem acelerar, sob certas circunstâncias, o processo de formação da chuva ácida” (Goldemberg, 2003).

O efeito acumulativo da chuva ácida impacta ambientes, colheitas, e materiais florestais e aquáticos. Por exemplo, lagos ácidos possuem dificuldade para manter a pesca; a acidez pode retardar o crescimento de árvores e causar danos ao solo; reduzem campos rurais, e prejudicam as plantas; o ácido ataca materiais de edifícios expostos (Ottinger, 1991).

3.1.3 Quantificação dos Impactos

Indicadores ambientais são uma forma para quantificação das emissões de poluentes. Pode-se analisar através de gráficos as emissões dos gases e materiais poluentes *per capita* em função da renda de um

grupo de indivíduos, ou de um país. Entretanto, há que se notar que idéias simplistas que consideram o aumento da renda para redução ou eliminação da poluição são incorretas, visto que nem todas as emissões diminuem com o aumento da renda, como por exemplo, o dióxido de carbono (Goldemberg, 2003).

As concentrações urbanas de matéria particulada, assim como as concentrações de dióxido de enxofre, podem ser quantificadas em função das toneladas equivalentes de petróleo *per capita* X renda *per capita* X microgramas (massa) por metro cúbico de ar emitidos, ou toneladas emitidas / milhão de Btu de carvão.

Emissões de dióxido de carbono per capita podem ser quantificadas por toneladas equivalentes de petróleo *per capita* X renda *per capita* X toneladas (massa) de dióxido de carbono emitidos.

A quantificação dos impactos gerados pelos gases do efeito estufa está relacionada ao tempo de vida desses gases na atmosfera e suas interações com outros gases e com o vapor d'água. Tal medição é efetuada através do indicador Potencial de Aquecimento Global (GPW), que fornece a contribuição relativa decorrente da emissão na atmosfera de 1kg de determinado gás comparada com a emissão de 1 kg de CO₂. O GWP calculado para diferentes horizontes de tempo mostra a influência da vida média do gás na atmosfera (Goldemberg, 2003).

A acidez é medida pela concentração de íons de hidrogênio (H⁺) em unidades de pH, definido como o logaritmo negativo (na base 10) da concentração de H⁺, sendo o pH 7 o ponto neutro (pH da água pura) (Goldemberg, 2003).

Em vista dos principais componentes da chuva ácida (H₂SO₄ e HNO₃) formados a partir do dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, as quantificações das emissões de enxofre e nitrogênio são formas de se analisar a precipitação das chuvas ácidas. Podem ser quantificadas as emissões de enxofre e nitrogênio em teregramas (10¹²g) ao ano (massa emitida ao ano), ou o fluxo de precipitação de enxofre em gramas de enxofre por metro quadrado por ano (g de S/m²/ano).

3.2 HIDRELÉTRICAS

As hidrelétricas, vistas por muitos como uma fonte de “energia limpa”, do ponto de vista ambiental não podem ser consideradas uma ótima solução ecológica.

Elas interferem drasticamente no meio ambiente devido à construção das represas, que provocam inundações em imensas áreas de matas, interferem no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna, e interferem na ocupação humana. As inundações das florestas fazem com que a vegetação encoberta entre em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e pela rarefação da camada de ozônio.

Segundo Leite (2005), a implantação de hidrelétricas pode gerar impactos ambientais na hidrologia, clima, erosão e assoreamento, sismologia, flora, fauna e alteração da paisagem. Na hidrologia impacta com a alteração do fluxo de corrente, alteração de vazão, alargamento do leito, aumento da profundidade, elevação do nível do lençol freático, mudança de lótico para lântico e geração de pântanos. Impacta no clima alterando temperatura, umidade relativa, evaporação (aumento em regiões mais secas), precipitação e ventos (formação de rampa extensa). Impacta também através da erosão marginal com perda do solo e árvores, assoreamento provocando a diminuição da vida útil do reservatório, comprometimento de locais de desova de peixes, e perda da função de geração de energia elétrica. Na sismologia pode causar pequenos tremores de terra, com a acomodação de placas. Na flora provoca perda de biodiversidade, perda de volume útil, eleva concentração de matéria orgânica e conseqüente diminuição do oxigênio, produz gás sulfídrico e metano provocando odores e elevação de carbono na atmosfera, e eutrofiza as águas. Na fauna provoca perda da biodiversidade, implica em resgate e realocação de animais, somente animais de grande porte conseguem ser salvos, aves e invertebrados dificilmente são incluídos nos resgates, e provoca migração de peixes.

No Brasil, a construção de usinas hidrelétricas na Amazônia vem degradando enormemente a floresta, que “tornou-se alvo das estratégias de desenvolvimento e integração territorial de diversos países da América do Sul” (Favaretto, 1999).

Cortez (2005) coloca que “o desmatamento é o principal fator da redução pluviométrica nas áreas de recarga (cabeceiras) dos rios que abastecem as represas”. E cita o rio São Francisco como é exemplo: “o desmatamento de sua cabeceira e afluentes, a perda das matas ciliares, a retirada sem controle de grandes volumes de água para irrigação e consumo rebaixaram o seu nível, assorearam o seu leito e causaram a salinização de sua foz. E, conseqüentemente, perda de volume nos reservatórios das suas hidrelétricas”.

Os impactos ambientais provocados por hidrelétricas podem ser exemplificados pela usina de Balbina, na Amazônia. Neste caso não só os impactos ambientais são visíveis, como também os resultados da falta de planejamento para implantação do projeto.

3.2.1 Quantificação dos Impactos

A abordagem adotada pelo CEPEL para a avaliação dos impactos ambientais estrutura a realidade em seis categorias de análise: ecossistemas aquáticos, ecossistemas terrestres, modos de vida, organização territorial, base econômica e população indígena (Sousa, 2000).

A quantificação e caracterização dos impactos ambientais provenientes da implantação de hidrelétricas podem ser avaliadas através de indicadores de impacto.

Segundo Sousa (2000), para avaliar os impactos de implantação de hidrelétricas sobre a fauna da região é necessário conhecimento sobre espécies e costumes, rotas migratórias e reprodutivas, identificação das áreas de maior produtividade pesqueira, entre outros. Para avaliar os impactos sobre a cobertura vegetal e uso do solo na bacia são necessários mapeamentos das fitoformações naturais da bacia com auxílio de sensoriamento remoto e outros recursos cartográficos. Para avaliar os impactos sobre o ecossistema é necessária sua caracterização, avaliando-se espécies importantes na manutenção da diversidade biológica ou em extinção, e a capacidade da área para manter espécies da fauna e o nível geral de insularização da cobertura vegetal nativa.

Alguns indicadores podem ser citados:

Hierarquia Fluvial: Ordem observada na área de drenagem do reservatório / Ordem máxima observada na sub-área;

Perda de Lagoas Marginais: Área das lagoas marginais impactadas pelo aproveitamento / Área total de lagoas marginais;

Comprometimento de Rotas Migratórias – Número de rotas migratórias impactadas pela construção do barramento / Número total de possíveis rotas de migração;

Espécies Exclusivas – extensão dos ambientes de elevada energia hidrodinâmica / extensão total destes ambientes;

Alteração da Vegetação – extensão da vegetação marginal perdida / extensão total de vegetação marginal;

Qualidade da Água – valor resultante da aplicação de um modelo simplificado de prospecção de qualidade da água dos futuros reservatórios;

Perda de Vegetação Marginal – extensão de vegetação marginal perdida / Extensão total da vegetação marginal;

Taxa de Cobertura Vegetal – superfície florestada afetada / superfície florestada total;

Relevância da Fauna – número de espécies ameaçadas de extinção dos taxones utilizados como indicadores ocorrentes / número total de espécies dos grupos considerados;

Exclusividade Fisionômica - Superfície de fisionomias exclusivas afetada / superfície total de fisionomias exclusivas. (Sousa, 2000).

Outras formas podem ser utilizadas para avaliação, tais como:

Hectares inundados/kWh gerado;

Toneladas emitidas de metano/volume de água;

Dólares de dano ao Meio Ambiente/ Alagamento de terras;

Dentre outros (Baitello, 2005).

3.3 ENERGIA EÓLICA

O uso da energia eólica vem de épocas remotas, quando era utilizada para bombeamento de água e moagem de grãos. Até a década de 70, os investimentos em tecnologias para geração de energia eólica eram pequenos. Entretanto, com o choque da crise do petróleo, o setor eólico industrial começou a crescer.

Atualmente, a energia eólica pode ser considerada uma alternativa energética sustentável, que se mostra uma ótima alternativa como fonte energética.

A energia eólica não polui durante sua operação, portanto é vista como uma contribuição para a redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO₂.

Os impactos ambientais gerados pela energia eólica estão relacionados principalmente a ruídos, ao impacto visual e ao impacto sobre a fauna.

Na década de 80 e 90, as questões relacionadas ao ruído gerado foram uma barreira a disseminação desse recurso. Entretanto, com o desenvolvimento tecnológico, houve uma diminuição significativa dos níveis de ruído produzidos pelas turbinas eólicas, que está relacionada a fatores como a aleatoriedade do seu funcionamento e a variação da frequência do ruído, uma vez que este é diretamente proporcional à velocidade de vento incidente (Tolmasquim, 2004).

O ruído proveniente das turbinas eólicas pode ser de origem mecânica e aerodinâmica.

Análises demonstram que, para turbinas com rotores de diâmetros maiores que 20 metros, o ruído mecânico é dominante, e que quanto mais largos os rotores, maior será o ruído aerodinâmico (EUREC Agency, 2002).

Segundo Tolmasquim (2004), a tecnologia atual mostra que é possível a construção de turbinas eólicas com níveis de ruído bem menores, visto que as engrenagens utilizadas para multiplicar a rotação do gerador podem ser eliminadas caso seja empregado um gerador elétrico que funciona em baixas rotações (sistema multipolo de geração de energia elétrica).

O ruído de origem aerodinâmica é função da velocidade do vento sobre a turbina eólica, e a sua redução relaciona-se ao design das pás e da própria torre.

Como exemplo de impacto por ruído, tem-se uma fazenda eólica na Carolina do Norte, onde as máquinas das turbinas emitiam vibrações que adoeciam pessoas, balançavam janelas, e fizeram com que as vacas parassem de dar leite (Ottinger, 1991).

As turbinas eólicas geram um impacto visual de difícil quantificação, porém, com certeza, as turbinas, com corpos com aproximadamente 40 metros de altura, e hélices de 20 metros, impactam a paisagem. Um outro aspecto do impacto visual é referente às movimentações das sombras provocadas pelas hélices, que deve ser considerado quando da implantação próxima a áreas habitadas. Planejamentos devem maximizar a potencialidade do uso de terras.

Outro aspecto da geração de energia eólica é o seu impacto sobre a fauna, visto a colisão de pássaros com as estruturas.

Entretanto, estudos comprovam que a mortalidade de pássaros em função de turbinas eólicas é pequena e isolada, como na Espanha, onde de as turbinas foram instaladas numa rota de migração de pássaros. Entretanto distúrbios na proliferação e descanso de pássaros podem ser um problema em regiões costeiras (EUREC Agency, 2002).

Fora das rotas de imigração, estudos mostram que raramente os pássaros são incomodados pelas turbinas, e que eles tendem a mudar sua rota de vôo entre 100 a 200 metros, passando acima ou ao redor da turbina, em distâncias seguras. Na Alemanha, morrem mais pássaros vitimados pelo impacto em torres de antenas do que em turbinas eólicas (Tolmasquim, 2004).

As turbinas eólicas em algumas áreas podem refletir em ondas eletromagnéticas, interferindo em sistemas de comunicação eletromagnéticas, por exemplo, em transmissões televisivas.

A circulação padrão do ar é modificada pela operação das turbinas, o que pode afetar o clima local e gerar micro-climas.

Atualmente, a geração de energia eólica de forma dispersa, ou seja, individualizada, em edificações é possível através de pequenos geradores eólicos que podem ser instalados em locais onde a velocidade do vento atinja no mínimo 4 metros por segundo.

3.3.1 Quantificação dos Impactos

A quantificação dos impactos provenientes de energia eólica em parte pode ser avaliada pela quantidade de CO₂ não emitido na atmosfera. Por exemplo, uma turbina de 600KW, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, pode evitar a emissão de entre 20.000 e 36.000 toneladas de CO₂ equivalentes à geração convencional, durante sua vida útil estimada em 20 anos (Tolmasquim, 2004).

A emissão de ruídos é quantificada em decibéis, considerando a distância das fazendas eólicas à áreas habitadas, e velocidade do vento. Seu nível de aceitação depende de regulamentações locais (EUREC Agency, 2002)

Impactos sobre o uso de terras é quantificado pela área ocupada, sendo que em geral ocupam 0,06 a 0,08 km²/MW (12-16MW/km²), podendo a área ser utilizada para outros propósitos tais como agricultura (EUREC Agency, 2002).

Impacto sobre a fauna pode ser quantificado através de estudos sobre rotas migratórias de aves, e comportamento da fauna da região.

Impactos visuais podem ser previstos e evitados através de um estudo de implantação cuidadoso, evitando efeitos de sombras, que podem incomodar mais do que os efeitos acústicos (EUREC Agency, 2002).

Interferências eletromagnéticas podem ser evitadas com implantação apropriada, onde se mantenha determinada distância dos eixos de passagem das conexões e/ou uso de antenas com direcionamento ou alcance aumentados (EUREC Agency, 2002).

3.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As tecnologias solares diretas para obter energia solar incluem a tecnologia fotovoltaica e a tecnologia térmica solar.

Pode ser trabalhada como uma tecnologia não elétrica: de forma passiva na arquitetura bioclimática, e de forma ativa, com coletores térmicos solares para aquecimento de água ou suprimento de calor em edifícios (Ottinger, 1991).

O sistema fotovoltaico é composto de “células” de material semicondutor que converte a luz solar diretamente em energia elétrica (Ottinger, 1991).

3.4.1 Estações Centrais Fotovoltaicas

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação e é muito promissor como uma alternativa energética sustentável, entretanto gera impactos ambientais a serem considerados.

Apesar de neste trabalho a apresentação das fontes energéticas aqui expostas não contemplarem os impactos ambientais oriundos da fabricação dos componentes de seu sistema, cabe ressaltar o caso dos painéis fotovoltaicos, pela magnitude dos impactos embutidos neste recurso.

O impacto ambiental mais significativo do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção, e também relacionado à questões de área de implantação.

Segundo Tolmasquim (2004), de uma forma geral o sistema fotovoltaico apresenta os seguintes impactos ambientais negativos:

- Emissões e outros impactos associados à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento dos sistemas;
- Emissões de produtos tóxicos durante o processo da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO₂, SO₂, NO_x, e particulados;
- Ocupação de área para implementação do projeto e possível perda de habitat (crítico apenas em áreas especiais) – no entanto, sistemas fotovoltaicos podem utilizar-se de áreas e estruturas já existentes como telhados, fachadas, etc.;
- Impactos visuais, que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não-sensíveis;
- Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo);
- Necessidade de se dispor e reciclar corretamente as baterias (geralmente do tipo chumbo-ácido, e com vida média de quatro a cinco anos) e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, sendo a vida útil média dos componentes estimada entre 20 e 30 anos.

3.4.2 Instalações Fotovoltaicas Descentralizadas

Segundo Ottinger (1991), o impacto ambiental mais significativo associado com a operação de instalações descentralizada de fotovoltaicos é o perigo associado à instalação, manutenção e remoção de sistemas fotovoltaicos de telhados. Outros possíveis impactos incluem riscos de incêndio e considerações estéticas.

A utilização de fotovoltaicos descentralizados não apenas evita emissões de usinas convencionais de energia, como também evita gastos e efeitos de linhas de transmissão e perdas nas mesmas (Tsoutsos et al., 2005).

3.4.3 Quantificação dos Impactos

A quantificação dos impactos ambientais em função da obtenção de Energia Solar podem ser segundo:

- Gases poluentes não emitidos na atmosfera, comparando-se a emissão de poluentes por energia gerada com o recurso solar e a gerada pela queima de derivados de petróleo – massa de poluente emitido x kWh
- Área ocupada x produção de energia (GWh/ha) – aplicável às térmicas solares concentradas e estações centrais fotovoltaicas
- Riscos de acidentes em manutenções por kWh
- Riscos de incêndio x produção de energia
- Ciclo de vida dos componentes dos sistemas
- Emissão de poluentes no processo de fabricação dos componentes dos sistemas
- Emissão de poluentes x riscos de acidentes
- Dentre outros.

4. PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS (PIR) E IMPACTOS AMBIENTAIS

Vistos os impactos ambientais gerados pela obtenção de energia dos sistemas supracitados, será discorrido como o Planejamento Integrado de Recursos pode mitigar tais impactos, partindo de seus conceitos básicos.

Várias pesquisas vêm sendo realizadas sobre o Planejamento de Recursos Integrados (PIR) em reformas no setor energético. Elas buscam o desenvolvimento sustentável através de utilização integrada de novos recursos energéticos, que possibilite a diminuição de custos completos e impactos ambientais e sociais minimizados.

O Planejamento Integrado de Recursos é um método eficaz de planejamento em curto e longo prazo, que considera as dimensões: social, política, técnico-econômica e ambiental. É um planejamento baseado em elementos analíticos conhecidos, ou seja, em planejamentos tradicionais, onde são implementados outros elementos.

O PIR inclui análises das características da região, identificando quais os recursos energéticos disponíveis, levantamento de dados de oferta e demanda, levantamento das características e interesses de envolvidos e interessados (En-In), análise de custo completo (ACC) considerando inclusive os custos relacionados a impactos ambientais, econômicos e sociais, analisa possíveis estratégias de

Gerenciamento do Lado Demanda para uma utilização otimizada da energia, trabalha o tratamento de incertezas através de simulações de cenários e iterações temporais, atribuindo pesos aos componentes do planejamento para a criação de um plano preferencial.

Segundo D'Sa (2005), o PIR deve ser utilizado como ferramenta para tomada de decisão quanto a investimentos, e indicar as crises mais importantes no setor de energia, sendo elas:

- Acesso precário à energia,
- Recursos financeiros insuficientes para investimentos em setores não lucrativos,
- Ineficiência de sistemas de transmissão e distribuição,
- Proteção ambiental inadequada.

D'Sa (2005) coloca ainda que os benefícios do PIR seriam:

- Deliberar sobre serviços energéticos eficientemente, por exemplo, identificando melhorias nos coeficientes que calculam o capital de investimento através de planos que diminuem o custo da energia por unidade de saída e energias alternativas;
- Analisar futuras solicitações de capacidade eficientemente;
- Contribuir para o bem estar social e ambiental de forma a dar assistência ao desenvolvimento social em todas as dimensões sociais, econômicas e ambientais, implantando custos adicionais para questões de impacto ambiental;
- Escolher adequadamente entre alternativas, identificando através do Gerenciamento do Lado Demanda, os custos efetivos dos melhoramentos e as opções de diversidade de recursos;
- Priorizar programas e políticas, através de regulamentações que influenciem políticas que gerem retorno fiscal e financeiro, tais como diminuição de tributação para uso de determinado recurso energético.

O PIR incorpora portanto não só os custos financeiros, mas também os custos ambientais de implantação de um projeto, incluindo Gerenciamento do Lado do Meio Ambiente (GLM) e Avaliação de Custos Completos (ACC). O GLM identificaria os impactos ambientais referentes a cada plano preferencial, identificando as condições de implementação e seus resultados em todas as dimensões.

Segundo Baitello (2005), os impactos ambientais devidos à obtenção de recursos energéticos podem ser avaliados com:

- Abordagem mais simples: caracterização e descrição qualitativa dos efeitos ambientais das opções de recursos;
- Abordagem mais complicada: classificação e atribuição de pesos aos impactos individuais das opções;
- Métodos mais completos: quantificação e monetização dos impactos ambientais associados às opções de recursos.

Segundo Carvalho (2005), a partir do conhecimento dos principais instrumentos de avaliação ambiental, constata-se que a identificação e mensuração dos impactos gerados pelas atividades passíveis de avaliação são cruciais para o sucesso na aplicação dos mesmos.

5. CONCLUSÃO

Cada forma de obtenção de energia, renovável ou não, possui pontos positivos e negativos, entretanto os pesos para cada ponto devem ser atribuídos corretamente para que o planejamento seja válido e realmente possa mitigar os impactos ambientais. Conhece-los e quantifica-los é essencial para o planejamento.

A inserção de recursos renováveis dentro do planejamento energético é uma forma de mitigar os impactos ambientais provocados pela obtenção de energia elétrica, e alcançar as metas estabelecidas em consenso comum pelos países que assinaram o protocolo de Kyoto.

Tal inserção pode ser efetuada através do Planejamento Integrado de Recursos, visto que através dele é possível:

- Analisar os impactos ambientais e verificar se a implantação de um empreendimento energético é viável em relação aos seus Custos Completos,
- Dar os devidos pesos aos impactos ambientais de cada recurso energético escolhido;
- Analisar interações entre recursos não renováveis existentes e novos renováveis;
- Analisar os resultados ao longo do tempo e poder reformular o Planejamento até atingir o melhor plano preferencial, que dê maior valor ao desenvolvimento sustentável;
- Aplicar soluções regionalmente, analisando caso a caso as condições ambientais e os possíveis impactos de implantação de um projeto;
- Incentivar a utilização de fontes renováveis em consumidores finais através de medidas políticas e econômicas estudadas no Gerenciamento do Lado Demanda (GLD);
- Inserir projetos de conscientização do uso racional da energia elétrica através do GLD;
- Inserir projetos de conscientização dos impactos, em todas as dimensões, gerados pela obtenção de energia elétrica tanto renovável quanto não renovável, através do GLD;
- Inserir políticas de incentivo para projeto de edificações com sistemas implementados que possam não só contribuir para o desenvolvimento sustentável, como também implementar o PIR em sua concepção.

A obtenção de energia sempre gera algum tipo de impacto ambiental, seja em grande ou pequena proporção. Entretanto estes impactos podem ser mitigados com um Planejamento Integrado de Recursos, que os considere corretamente visando o desenvolvimento sustentável.

Com um Planejamento Integrado de Recursos bem desenvolvido e devidamente avaliado, é possível analisar a real necessidade de implantação de um projeto, mitigar os impactos ambientais provenientes da obtenção de energia elétrica, e promover o desenvolvimento sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baines, Stephen G. **A Usina Hidrelétrica De Balbina e o Deslocamento Compulsório Dos Waimiri-Atroari.** Série Antropologia, 166. Brasília, 1994. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: www.unb.br/ics/dan/Serie166empdf.pdf

Baitello, Ricardo L. **Complexidade, Limitação e Abrangência do PIR. Envolvidos e Interessados.** São Paulo, USP, 13 de julho de 2005. Slides de Apresentação de Aula.

Becari, Walter A. Morte da termelétrica, vitória do meio ambiente. **Jornal do Engenheiro.** Junho. 2003. Publicação SEESP. Edição JE 213. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.seesp.org.br/imprensa/je213opinio.htm>

Carvalho, C. E.; Reis, L. B. **Desenvolvimento de Procedimentos e Métodos para Mensuração e Incorporação das Externalidades em Projetos de Energia Elétrica: Uma Aplicação às Linhas de Transmissão Aéreas.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil, 2005.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito -CRESESB. **Tutorial: Energia Solar.** Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm#item-11>

Cortez, José H. Não existe Energia Limpa. **Jornal Gazeta Mercantil.** 24 de abril de 2002. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.camaradecultura.org/Nao%20existe%20energia%20limpa.pdf>

Costa, Heitor S. **Alerta termelétrico em Pernambuco.** Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Pernambuco: 25 de julho de 2005. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.espacociencia.pe.gov.br/artigos/?artigo=1>

D'Sa, Antonette. Integrated resource planning (IRP) and power sector reform in developing countries. **Energy Policy.** v. 33, p. 1271-1285, 2005.

ERM Alpha Ltda. EIA-RIMA. Usina de Geração de Energia Carioba II. São Paulo, 2001.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. U.S. Department of Energy. **Solar Energy Technologies Program.** Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: http://www.eere.energy.gov/solar/sh_basics.html#active

_____. **Wind Energy Technologies.** Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: http://www.eere.energy.gov/RE/wind_technologies.html

EUREC Agency. **The future for renewable energy 2. Prospects and directions.** London: James & James, 2002.

Favaretto, José A. **Biologia** — Volume Único, 1999 e **Biologia** — Uma abordagem evolutiva e ecológica. Editora Moderna. São Paulo: 1997. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.moderna.com.br/moderna/fisica/faces/Cap.43.pdf>

Fearnside, Philip M. **A Hidrelétrica de Balbina. O faraonismo irreversível versus o meio ambiente na Amazônia.** São Paulo: Instituto de Antropologia e Meio Ambiente, 1990.

Goldemberg, J; Villanueva, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.** Edusp. São Paulo, 2003.

Guaiume, S. Americana veta instalação de usina termelétrica. **O Estado de São Paulo**. 13 de dezembro de 2003.

Leite, M. A. **Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas**. II Semana do Meio Ambiente. UNESP. Ilha Solteira, junho 2005.

Martin, Paulo San. Entidades insistem em plebiscito sobre Carioba 2. **EFEI Energy News**. Ano 3 N. 205 - Edição 011104 - Novembro de 2001. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.energynews.efei.br/anterior/EEN-011104.htm>

Mundo Ciência. **Usinas Termelétricas**. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.mundociencia.com.br/fisica/electricidade/santacruz.htm>

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. **Planejamento Anual da Operação Energética Ano 2004- 2º Revisão Quadrimestral. Sistema Interligado Nacional**. Rio de Janeiro, 2004.

Ottinger, Richard L **Environmental costs of electricity** / prepared by Pace University center for environmental legal studies. New York : Oceana Publications, 1991.

Seva F., A. O.; Ferreira, A. L. **Parecer sobre o projeto de uma usina termelétrica de grande porte, à gás e a vapor, em Americana, São Paulo**. Maio 2001.

Sousa, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. Dissertação (Mestrado em Ciências). COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

Tolmasquim, Maurício T. et al. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

Trieb, F.; Langnib, O.; Klaib, H. Solar electricity generation—A comparative view of technologies, costs and environmental impact. **Solar Energy**. v. 59, p. 89-99, 1997.

Tsoutsos, T.; Frantzeskaki, N.; Gekas, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. **Energy Policy**. v. 33, p. 289-296, 2005.

Udaeta, M.E.M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos para o Setor Elétrico -PIR- (Pensando o Desenvolvimento Sustentados)** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil, 1997.

Windsave Ltd. **The Revolutionary Wind Save Plug 'n' Save System**. Capturado em julho 2005. Online. Disponível na Internet: <http://www.windsave.com/WS1000.htm>.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo financiamento e apoio a esta pesquisa.